

MIKROSTRUKTUR PERMUKAAN BAJA JIS S45C HASIL  
DIFUSI PASKA PELAPISAN HVOF-*THERMAL SPRAY COATING*

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

APRILIA KURNIA DEWI  
0606150965



UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
2009

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

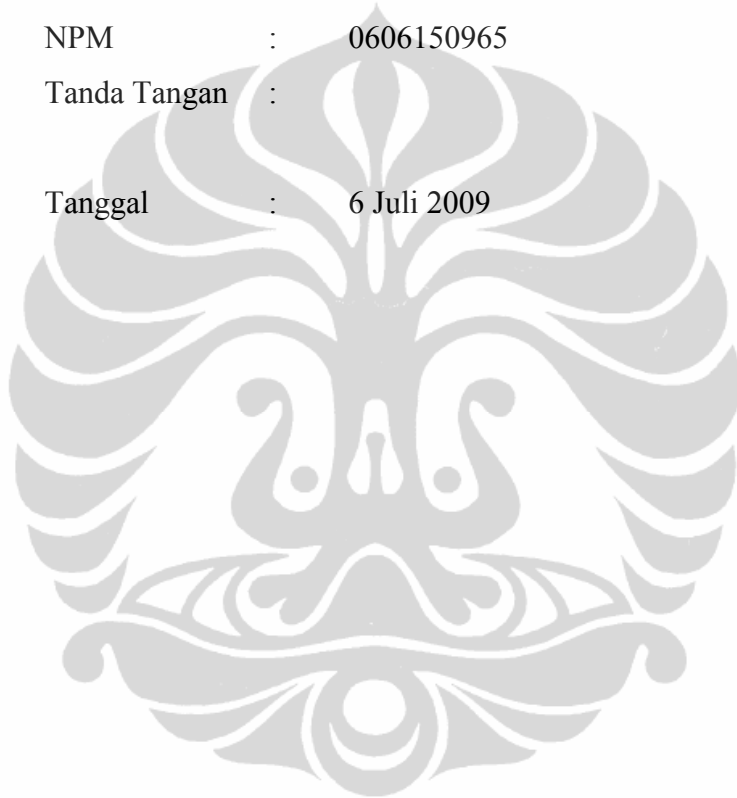
Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Aprilia Kurnia Dewi

NPM : 0606150965

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2009



## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Aprilia Kurnia Dewi  
NPM : 0606150965  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul Tesis : Mikrostruktur Permukaan Baja JIS S45C Hasil  
Difusi Pasca Pelapisan HVOF-*Thermal Spray*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Azwar Manaf, M.Met ( )

Penguji I : Dr. Winarto ( )

Penguji II : Dr. Muhammad Hikam ( )

Penguji III : Dr. Harini Sosiati ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini sebagai pemenuhan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Universitas Indonesia dengan judul ” Mikrostruktur Permukaan Baja JIS S45C Hasil Difusi Paska Pelapisan HVOF-*Thermal Spray*”

Penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna di kemudian hari. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan semangat selama penulis menyusun Laporan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih tersebut penulis haturkan kepada:

1. Bapak Dr. Azwar Manaf, M.Met selaku pembimbing yang bersedia menyediakan waktunya untuk meberikan bimbingan dan pengarahan.
2. Bapak Dr. Bambang Soegijono selaku Ketua Program Studi Ilmu Material.
3. Bapak Dr. Muhammad Hikam selaku staf/dosen pengajar.
4. Seluruh pengajar dan staf Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Material FMIPA Universitas Indonesia.
5. Seluruh rekan mahasiswa program Magister, dan Doktor ilmu material yang telah memberikan bantuan dan dukungan.
6. Ibunda dan Ayahanda tercinta yang telah membantu, memberikan support. Thanks a lot...
7. Mas didit dan Denis buat canda tawa yang cukup menghilangkan kejenuhan. Trims...
8. Rekan kerja di Kalibata yang telah memberikan banyak toleransi kepada penulis selama melakukan penelitian.
9. Untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu masukan berupa kritik dan saran sangat diperlukan untuk pengembangan penelitian yang lebih baik lagi.

Jakarta, Juli 2009

Penulis

Aprilia Kurnia Dewi



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aprilia Kurnia Dewi  
NPM : 0606150965  
Program Studi : Ilmu Material  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Mikrostruktur Permukaan Baja JIS S45C Hasil Difusi Pasca Pelapisan HVOF  
*Thermal Spray Coating*”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 6 Juli 2009

Yang Menyatakan

(Aprilia Kurnia Dewi)

## ABSTRAK

Nama : Aprilia Kurnia Dewi  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul : Mikrostruktur Permukaan Baja JIS S45C Hasil Difusi Pasca Pelapisan HVOF-*Thermal Spray Coating*

Telah dilakukan investigasi baja JIS S45C hasil difusi pasca pelapisan HVOF *thermal spray coating*. Studi mempelajari pengaruh pemanasan terhadap pada hasil pelapisan menggunakan teknik mikroskop optik, SEM, XRF dan XRD. Dari hasil observasi menunjukkan bahwa pasca pemanasan pada temperatur tinggi (1000-1200°C) dalam durasi waktu yang relatif lama (2-26 jam) terbentuk lapisan antarmuka (*interface*) antar permukaan *base metal* dan material pelapis melalui mekanisme difusi seiring peningkatan temperatur dan waktu, diamati peningkatan lebar ketebalan lapisan serta perubahan kekerasan akibat pemanasan terutama pada daerah *interface*.

Kata kunci :

Baja JIS S45C, *thermal spray coating*, *interface*

Investigations have been conducted JIS S45C steel post the results of diffusion coatings HVOF thermal spray coating. Studies to study the effect of heating on the coating using the techniques of optical microscope, SEM, XRF and XRD. From the observation results indicate that post-heating at high temperature (1000-1200°C) in a relatively long duration (2-26 hours) are formed layer interface between the surface of the base metal and coating materials through the mechanism of the increasing diffusion temperature and time, observed increased width of layer thickness and changes in hardness due to heating, especially in interfaces areas.

Keywords:

JIS S45C steel, thermal spray coating, interface

## ABSTRAK

Nama : Aprilia Kurnia Dewi  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul : Mikrostruktur Permukaan Baja JIS S45C Hasil Difusi Pasca Pelapisan HVOF-*Thermal Spray Coating*

Telah dilakukan investigasi baja JIS S45C hasil difusi pasca pelapisan HVOF *thermal spray coating*. Studi mempelajari pengaruh pemanasan terhadap pada hasil pelapisan menggunakan teknik mikroskop optik, SEM, XRF dan XRD. Dari hasil observasi menunjukkan bahwa pasca pemanasan pada temperatur tinggi (1000-1200°C) dalam durasi waktu yang relatif lama (2-26 jam) terbentuk lapisan antarmuka (*interface*) antar permukaan *base metal* dan material pelapis melalui mekanisme difusi seiring peningkatan temperatur dan waktu, diamati peningkatan lebar ketebalan lapisan serta perubahan kekerasan akibat pemanasan terutama pada daerah *interface*.

Kata kunci :

Baja JIS S45C, *thermal spray coating*, *interface*

Investigations have been conducted JIS S45C steel post the results of diffusion coatings HVOF thermal spray coating. Studies to study the effect of heating on the coating using the techniques of optical microscope, SEM, XRF and XRD. From the observation results indicate that post-heating at high temperature (1000-1200°C) in a relatively long duration (2-26 hours) are formed layer interface between the surface of the base metal and coating materials through the mechanism of the increasing diffusion temperature and time, observed increased width of layer thickness and changes in hardness due to heating, especially in interfaces areas.

Keywords:

JIS S45C steel, thermal spray coating, interface



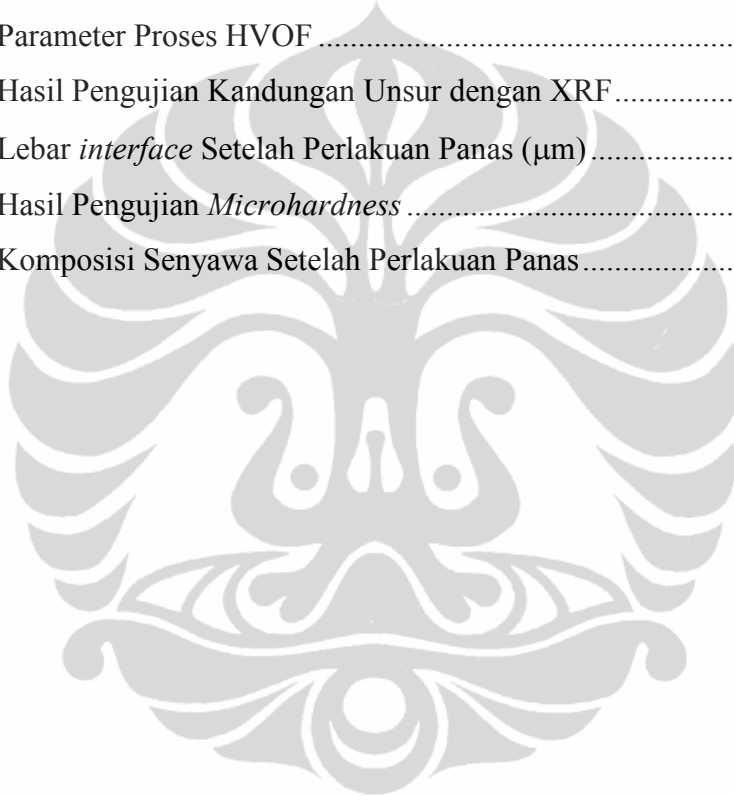
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Batasan Permasalahan.....	2
1.4. Sistematika Penulisan .....	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 <i>Base Metal</i> Baja JIS S45C .....	4
2.2. <i>Coating Powder</i> WOKA 3652 .....	4
2.3. Proses <i>Thermal Spray</i> .....	5
2.3.1 Proses HVOF <i>Thermal Spray</i> .....	6
2.4 Sistem W-C-Co Pada Temperatur Tinggi .....	9
2.4.1. Sistem Co-W .....	9
2.4.2. Sistem W-C .....	10
2.4.3. Sistem Co-C .....	11
2.4.4. Sistem WC-Co .....	12
2.5. Sistem Fe-C.....	12
2.6. Difusi .....	14
2.6.1. Diffusivitas.....	15
2.6.2. Hubungan Diffusivitas dan Temperatur.....	17
2.7. Distribusi Kekerasan di Daerah <i>Coating</i> .....	17

BAB III.METODE PENELITIAN.....	20
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	20
3.2. Bahan Dasar Penelitian .....	21
3.3. Tahapan Penelitian .....	21
3.3.1. Proses Pembuatan Sampel.....	21
3.3.2. Proses Perlakuan Panas .....	24
3.3.3. Analisis Metallografi.....	24
3.3.4. Pengujian Komposisi .....	25
3.3.5. Pengujian <i>microhardness</i> .....	25
BAB IV.HASIL DISKUSI.....	28
4.1. Karakterisasi <i>Base Metal</i> dan <i>Coating Powder</i> .....	28
4.2. Mikrostruktur <i>Coating</i> dan Morfologi .....	31
4.2.1. Mikrostruktur Permukaan <i>Coating</i> dengan SEM.....	31
4.2.2. Hasil <i>Mapping</i> .....	32
4.3. Mikrostruktur <i>Base Metal</i> .....	34
4.4. Mikrostruktur <i>Interface</i> .....	36
4.5. Pengujian <i>Mikrohardness</i> .....	38
4.6. Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Komposisi Material.....	42
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1. Kesimpulan .....	50
5.2. Saran .....	50
DAFTAR PUSTAKA .....	51
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Komposisi Kimia Baja JIS S45C .....	4
Tabel 2.2.	Komposisi Kimia <i>Coating Powder</i> WOKA 3652.....	5
Tabel 2.3.	Tipe Proses <i>Thermal Spray</i> .....	6
Tabel 2.4.	Perbandingan Proses <i>Thermal Spray Coating</i> dan Karakteristik Lapisan .....	7
Tabel 2.5.	Diffusivitas Atom.....	16
Tabel 3.1.	Parameter Proses HVOF .....	23
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Kandungan Unsur dengan XRF.....	28
Tabel 4.2.	Lebar <i>interface</i> Setelah Perlakuan Panas ( $\mu\text{m}$ ) .....	37
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian <i>Microhardness</i> .....	38
Tabel 4.4.	Komposisi Senyawa Setelah Perlakuan Panas.....	42



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pembentukan Lapisan dengan metode <i>Thermal Spray Coating</i> .....	5
Gambar 2.2 (a) Lapisan Hasil Proses <i>Thermal Spray</i> .....	8
(b) Pengaruh Percikan Partikel pada Permukaan Lapisan WC-Co.....	8
Gambar 2.3. Diagram Fasa Co-W.....	9
Gambar 2.4. Diagram Fasa W-C.....	10
Gambar 2.5. Diagram Fasa Co-C .....	11
Gambar 2.6. Stoikiometri WC dan Co pada diagram fasa W-C-Co.....	12
Gambar 2.7. Diagram Fasa Fe-C .....	14
Gambar 2.8. Distribusi <i>Microhardness</i> (a) sampel <i>as-coated</i> (b) sampel setelah perlakuan panas 750°C selama 1000 jam.....	18
Gambar 2.9. Hasil <i>Microhardness</i> Setelah Perlakuan Panas berdasarkan Perbedaan (a) Temperatur (b) Durasi.....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	20
Gambar 3.2. Dimensi Sampel (mm) .....	21
Gambar 3.3. Dimensi Benda Uji Hasil Pelapisan HVOF (mm) .....	23
Gambar 3.4. Skema Indentansi Poramida Intan Pada Pengujian <i>Hardness</i> Vickers .	26
Gambar 4.1. (a) Pola difraksi Sinar X <i>Base Metal</i> .....	29
(b) Pola difraksi Sinar <i>Coating Powder</i> .....	29
Gambar 4.2. Grafik Pengolahan GSAS <i>Coating Powder</i> .....	30
Gambar 4.3. Foto SEM <i>coating powder</i> dengan perbesaran 750x .....	30
Gambar 4.4. (a) Hasil SEM <i>cross section</i> substrat dan <i>coating</i> sampel <i>as-coated</i> ...	31
(b) Hasil SEM <i>cross section</i> substrat dan <i>coating</i> setelah perlakuan panas 1200 °C selama 24 jam.....	31
Gambar 4.5. Hasil <i>mapping</i> sampel <i>as-coated</i> dan sampel setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam.....	33
Gambar 4.6. Hasil SEM sampel <i>as-coated</i> .....	34
Gambar 4.7. (a) Hasil SEM <i>base metal</i> setelah perlakuan panas 1000°C selama 24 jam .....	35
(b) Hasil SEM <i>base metal</i> setelah perlakuan panas 1100°C selama 24 jam .....	35

(c) Hasil SEM <i>base metal</i> setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam .....	35
Gambar 4.8. (a) Hasil SEM <i>interface</i> setelah perlakuan panas 1000°C selama 24 jam .....	36
(b) Hasil SEM <i>interface</i> setelah perlakuan panas 1100°C selama 24 jam .....	36
(c) Hasil SEM <i>interface</i> setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam .....	36
Gambar 4.9. Grafik Lebar <i>interface</i> yang terbentuk Setelah Perlakuan Panas.....	37
Gambar 4.10.(a) Hasil <i>microhardness</i> sampel <i>as-coated</i> .....	38
(b) Hasil <i>microhardness</i> sampel setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam.....	38
Gambar 4.11. (a) Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan setelah perlakuan panas 1000°C .....	40
(b) Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan setelah perlakuan panas 1100°C.....	40
(c) Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan setelah perlakuan panas 1200°C.....	40
Gambar 4.12. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan setelah perlakuan panas 24 jam.....	41
Gambar 4.13.(a) Pola difraksi Sinar X sampel <i>as-coated</i> .....	43
(b) Hasil Pengolahan GSAS sampel <i>as-coated</i> .....	43
Gambar 4.14.(a) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas 1000°C 20 jam .....	44
(b) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas 1000°C 24 jam .....	44
(c) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas 1000°C 26 jam .....	44
Gambar 4.15. Grafik Perbandingan Fraksi Berat WC dan Co <sub>3</sub> W <sub>3</sub> C setelah perlakuan panas 1000°C .....	45
Gambar 4.16.(a) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas 1100°C 12 jam .....	46
(b) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas 1100°C 20 jam .....	46
(c) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas 1100°C 24 jam .....	46

Gambar 4.17. Grafik Perbandingan Fraksi Berat WC dan $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ setelah perlakuan panas $1100^\circ\text{C}$ .....	47
Gambar 4.18. (a) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas $1200^\circ\text{C}$ 2 jam .....	48
(b) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas $1200^\circ\text{C}$ 12 jam .....	48
(c) Pola difraksi Sinar X setelah perlakuan panas $1200^\circ\text{C}$ 24 jam .....	48
Gambar 4.19. Grafik Perbandingan Fraksi Berat WC dan $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ setelah perlakuan panas $1200^\circ\text{C}$ .....	49



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Sertifikat Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Base Metal* dan *Coating Powder* WOKA 3652
- Lampiran 2** Data Hasil XRF *Base Metal* dan *Coating Powder* WOKA 3652
- Lampiran 3** Hasil Mikrostruktur SEM
- Lampiran 4** Hasil Pengujian *Microhardness*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, teknologi *thermal spray* telah digunakan secara intensif sebagai *thermal barrier coatings* untuk industri dirgantara (*aerospace*), komponen *boiler* serta komponen gas turbin [1]. *Thermal spray* merupakan gabungan dari beberapa proses dimana prinsip kerjanya adalah suatu material (dalam bentuk *wire*, *rod* atau *powder*) dipanaskan oleh sumber panas (*flame* atau *arc*) setelah material meleleh langsung ditekan oleh udara tekan sehingga menempel pada permukaan benda kerja membentuk lapisan baru.

Secara umum proses *thermal spray* dilakukan untuk meningkatkan umur atau masa pakai komponen. Komponen-komponen tersebut *dicoating* agar tahan terhadap korosi (menghindari interaksi langsung permukaan komponen dengan lingkungannya), meningkatkan ketahanan terhadap aus sehingga dapat meningkatkan umur pemakaiannya. Alasan lain dilakukan proses pelapisan adalah untuk tujuan dekoratif.

Pelapisan dengan teknologi *thermal spray*, khususnya metode HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) menggunakan bahan baku berupa Baja JIS S45C sebagai *base metal* dan WOKA 3652 sebagai *coating powder*. Bagian konstruksi yang menggunakan material ini adalah pada komponen *turbine blades* yang beroperasi pada lingkungan bertemperatur tinggi. Transformasi fasa dapat terjadi pada temperatur tinggi yang dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur, perubahan sifat mekanis, pembentukan fasa baru bahkan dapat menyebabkan material menjadi retak. Selain itu difusi juga dapat terjadi diantara *base metal* dan *coating* yang akan berpengaruh terhadap komposisi serta sifat material tersebut [2].

Adhesif *coating* terhadap substrat juga merupakan hal yang sangat penting, karena dengan naiknya temperatur maka pengelupasan akan terjadi di bagian *interface* antara *coating* dan substrat. Hal yang mempengaruhi kekuatan rekat *coating* terhadap substrat terutama adalah (1) tegangan sisa, (2) *thermal shock*, (3) proses difusi. Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, setelah perlakuan panas maka kekuatan rekat meningkat dibandingkan dengan kondisi *as-*



*coated*. Hal ini disebabkan oleh adanya difusi silang antara unsur-unsur yang berada pada *coating* dengan substrat. Difusi antara *coating* dengan substrat hanya akan terjadi jika dipaparkan pada temperatur tinggi [3].

## 1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik material hasil *coating* dan pengaruh proses perlakuan panasnya.
2. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap sifat-sifat material hasil *coating* yang mengalami perlakuan panas.
3. Mengetahui perubahan komposisi material hasil *coating* akibat kenaikan temperatur.

## 1.3 Batasan Permasalahan

Dalam penelitian ini hanya dilakukan *quenching* dengan air yaitu setelah material dipanaskan pada temperatur tertentu dengan tujuan untuk mengetahui perubahan *grain* pada *base metal*, *coating* dan *interface* serta perubahan komposisi akibat difusi. Kemudian dilakukan uji komposisi dan metalografi serta pengujian kekerasan yang terjadi untuk setiap proses perlakuan panas. Pengujian dilakukan dengan XRF, XRD, SEM, EDS-*mapping* dan alat *microhardness* Shimadzu.

## 1.4 Sistematika Penulisan

- BAB I      Pendahuluan  
                 Berisi dasar pemikiran yang melatarbelakangi penelitian
- BAB II      Tinjauan Pustaka  
                 Menguraikan teori yang digunakan di dalam penelitian
- BAB III     Kegiatan Penelitian  
                 Mencakup seluruh preparasi sampel, metode karakterisasi dan pengujian sampel.
- BAB IV     Hasil dan Pembahasan  
                 Menyajikan data yang diperoleh dari setiap kegiatan beserta analisis dari data tersebut.

## BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dari seluruh rangkaian kegiatan penelitian serta beberapa saran dalam rangka perbaikan dan pengembangan penelitian.



## BAB II TUNJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Base Metal* Baja JIS S45C

Baja JIS S45C setara dengan AISI 1045, UNSG 10450, ASTM A510, DIN 1.1191 atau Assab 760, termasuk baja karbon medium. Komposisi baja ini antara lain:

Tabel 2.1. Komposisi Kimia JIS S45C [4]

Element	% wt
C	0,42-0.5
Mn	0.6-0.9
P	0.04 (max)
S	0.05 (max)
Fe	<i>balance</i>

Sifat baja jenis ini memiliki kemampuan tempa (*forgeability*) dan *machinability* yang sangat baik. [4]

### 2.2. *Coating Powder* WOKA 3652

WOKA 3652 termasuk dalam golongan material cermet. Bentuk dari material ini yang digunakan dalam proses *thermal spray* berupa serbuk *spheroidal*, agglomerasi. Hasil *coating* yang terbentuk halus, rata, kuat dan padat serta memiliki ketahanan yang tinggi terhadap erosi dan abrasi [5]. Material ini dibedakan menjadi dua macam berdasarkan bentuk serbuk karbidanya, yaitu :

#### 1. Tipe *blended*

Terdiri atas campuran terpisah antara serbuk berbentuk angular dan serbuk W-Co berbentuk bulat (*spherical*).

#### 2. Tipe *komposit*

Karbida terbungkus oleh serbuk W-Co membentuk partikel serbuk yang berbentuk bulat.

Semakin tinggi kandungan Co pada *coating powder* maka akan menambah kekuatan material. Komposisi WOKA 3652 seperti pada Tabel 2.2.

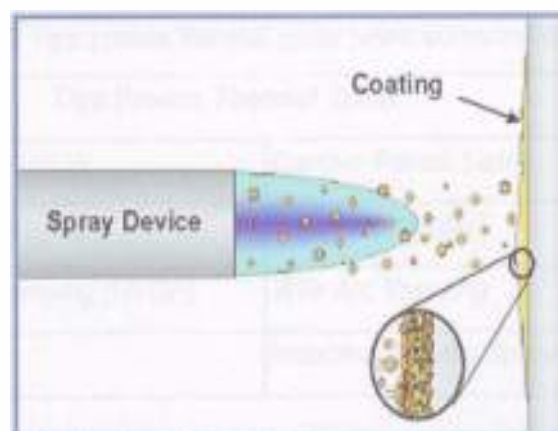
Tabel 2.2. Komposisi Kimia *Coating Powder* WOKA 3652 [5]

Element	Wt %
C	5.32
W	<i>balance</i>
Co	9.58
Cr	3.94
Fe	0,06

*Coating powder* WOKA 3652 perlu di lakukan pengkondisian untuk mendapatkan hasil terbaik seperti *spray* yang kuat, *adhesive bonding* yang tinggi serta tegangan sisa yang kecil yaitu dengan mengatur beberapa parameter proses seperti kecepatan *spray* harus melebihi 700 m/s dan temperatur pengumpanan 100°C di bawah titik cairnya. [6]

### 2.3. *Thermal Spray*

*Thermal spray* merupakan salah satu teknik rekayasa permukaan, yaitu dengan mendepositkan partikulat dalam bentuk cair, semi cair atau padat ke substrat dan struktur mikro lapisan dihasilkan dari pembekuan partikel tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.1 [7]. Jenis material yang didepositkan ke permukaan substrat ini dapat berupa logam, keramik maupun komposit. Bentuk material yang digunakan sebagai pelapis dapat berupa serbuk (*powder*) ataupun kawat (*wire*) tergantung dari jenis material dan proses pelapisan yang digunakan.

Gambar 2.1 Pembentukan lapisan dengan *metode thermal spray coating* [7]

Material diumpangkan kedalam *gun*, kemudian material dipanaskan hingga mencair lalu dipercepat dengan adanya tekanan gas yang disemprotkan menuju substrat. Pada saat partikel cair hasil semprotan tadi mengenai bagian permukaan substrat, partikel tersebut kemudian mengalami pendinginan yang membentuk struktur berupa lapisan (*lamellar*), dengan demikian akan membentuk lapisan atau endapan hasil *spray*.

Proses pelapisan dengan metode *thermal spray coating* mudah digunakan, biaya operasi lebih kecil, dan dapat meningkatkan kinerja dan umur pakai komponen. Perbedaan tingkat porositas dan jumlah inklusi oksida pada hasil lapisan akhir merupakan fungsi dari kecepatan partikel cair dan lingkungan, udara dan gas *inert* yang digunakan. Secara khusus lapisan menempel dan terikat pada substrat dengan ikatan mekanik (*mechanical interlocks*) dimana permukaan substrat telah dikasarkan terlebih dahulu dengan *grit blasting*. Ikatan seperti ini disebut dengan kekuatan ikatan adhesif, sedangkan ikatan antara partikel dengan partikel yang sama disebut ikatan kohesif.

Berdasarkan sumber penghasil panas, proses *thermal spray coating* dapat dibagi dalam dua kelompok (seperti terlihat pada Tabel 2.3), yaitu:

- pembakaran
- listrik.

Tabel 2.3. Tipe proses *thermal spray* [7]

<b>Tipe Proses <i>Thermal Spray</i></b>	
<b>Sumber Panas: Pembakaran</b>	<b>Sumber Panas: Listrik</b>
<i>Low Velocity Flame Spraying</i>	<i>Plasma Spraying</i>
<i>High Velocity Flame Spraying (HVOF)</i>	<i>Wire Arc Spraying</i>
<i>Detonation (D-Gun)</i>	<i>Induction Plasma Spraying</i>

### 2.3.1. Proses HVOF *Thermal Spray*

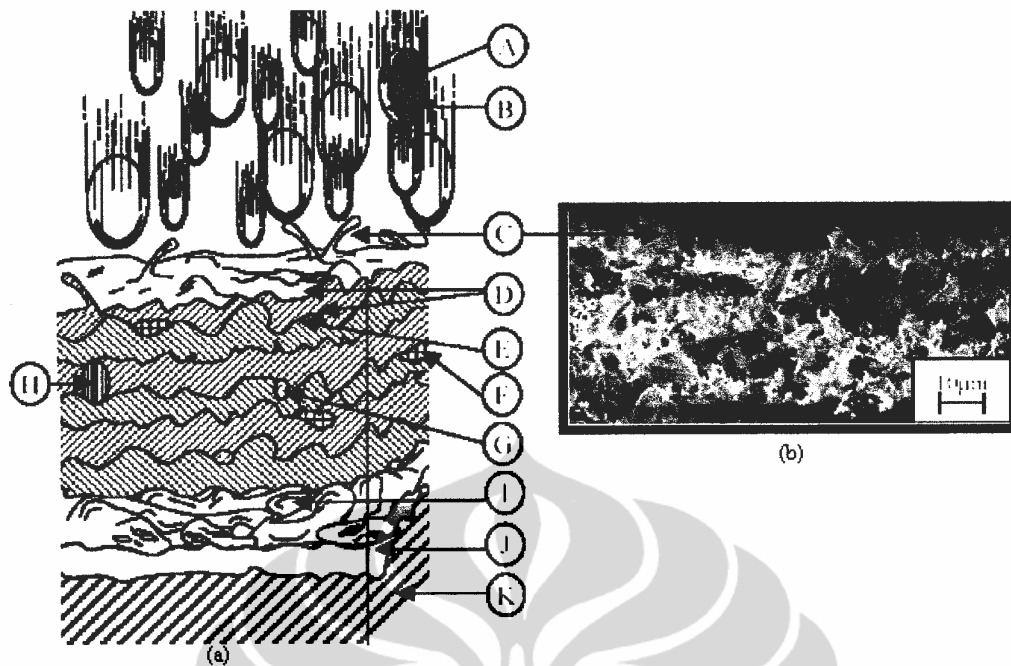
Proses pelapisan dengan metode HVOF menggunakan energi kinetik yang luar biasa tinggi dan energi panas yang dihasilkan terkontrol dan menghasilkan lapisan dengan tingkat porositas yang lebih rendah, kekuatan ikatan lebih tinggi,

permukaan lapisan lebih halus, dan tegangan sisa yang lebih rendah jika dibandingkan dengan lapisan yang dihasilkan dari proses *spraying* lainnya seperti *flame spraying*, *electric arc spraying*, atau *plasma spraying* (lihat Tabel 2.4).

Tabel 2.4. Perbandingan proses *thermal spray coating* dan karakteristik lapisan [8]

<b>Teknik Thermal Spray</b>	<b>Kecepatan Partikel (m.S-1)</b>	<b>Kekuatan Adhesi (MPa)</b>	<b>Kandungan Oksida (%)</b>	<b>Porositas (%)</b>	<b>Kecepatan Deposisi (kg.hf')</b>	<b>Tebal Lapisan (mm)</b>
<i>Flame</i>	40	<8	10-15	10-15	1-10	0.2-10
<i>Arc</i>	100	10-30	10-20	5-10	6-60	0.2-10
<i>Plasma</i>	200-300	20-70	1-3	5-10	1-5	0.2-2
<i>HVOF</i>	600-1000	>70	1-2	1-2	1-5	0.2-2

Pada metode HVOF serbuk diumpankan secara aksial ke dalam nosel dengan gas-gas pembakaran (kerosin, *propylene*, *propane*, hidrogen) bertekanan tinggi. Gas-gas tersebut lewat melalui nosel dengan peningkatan kecepatan yang tinggi ketika dibakar dengan oksigen untuk mempercepat partikel-partikel cair mencapai kecepatan supersonik [7]. Masing-masing partikel dipanaskan dalam ruang pembakaran pada *HVOF gun*, dan berpenetrasi ke permukaan substrat. Pada saat terjadi tumbukan dengan substrat, partikel tersebut berubah bentuk menjadi *laurel* yang mengalami pendinginan ke titik leburnya dan mengeras seperti terlihat pada Gambar 2.2 (a). Dan selama tumbukan tersebut, terjadi percikan dan pengaruhnya dapat terlihat pada Gambar 2.2 (b).



Gambar 2.2 (a) Lapisan hasil proses *thermal spray*, (b) pengaruh percikan partikel pada permukaan lapisan WC-Co [9]

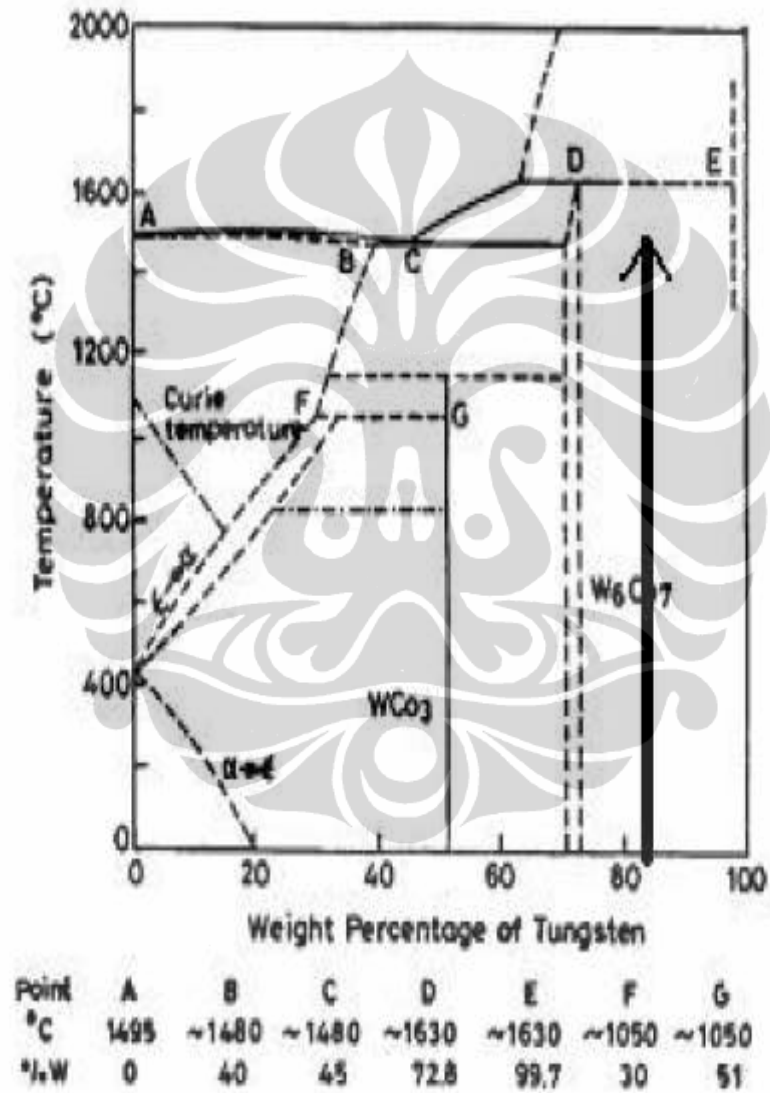
Keterangan gambar:

- A: Bagian partikel, bagian tengah masih dalam bentuk *liquid*.
- B: Lapisan oksida yang terbentuk saat partikel menuju substrat.
- C: Endapan partikel bentuk percikan.
- D: Pembentukan oksida pada permukaan lapisan.
- E: Adhesi antara dua lapisan.
- F: Paduan dari dua partikel.
- G: Pori/kekosongan, terbentuk dengan adanya gas-gas yang terperangkap.
- H: Partikel yang tidak mengalami leburan.
- I: Lamel tersendiri, yang membentuk lapisan-lapisan tersendiri.
- J: Lapisan yang lepas.
- K: Substrat

## 2.4. Sistem W-C-Co Pada Temperatur Tinggi

### 2.4.1. Sistem Co-W

Seperti terlihat pada diagram fasa sistem Co-W, pada komposisi sampel W 13wt% fasa yang mungkin terbentuk adalah  $W_6O_7$ . Fasa ini stabil dari suhu rendah hingga suhu  $1700^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pada komposisi sampel yang lebih rendah mungkin terbentuk  $WCO_3$  [10].

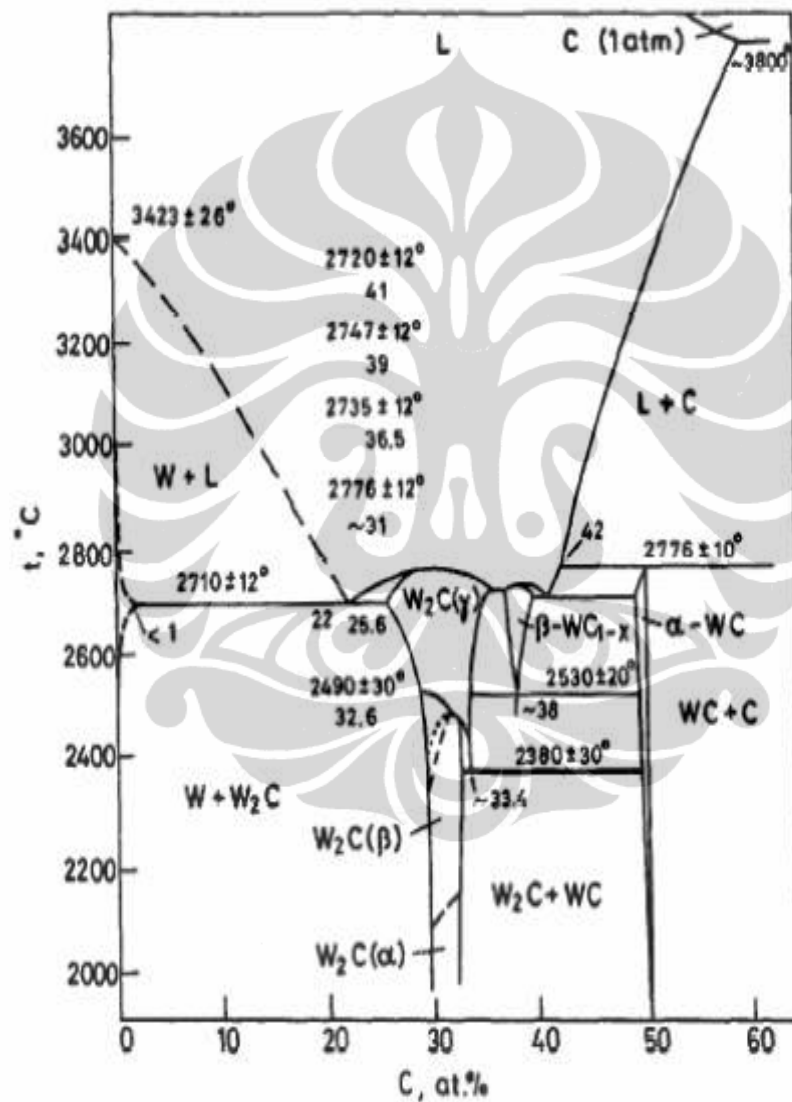


Gambar 2.3. Diagram Fasa Co-W [10]



### 2.4.2. Sistem W-C

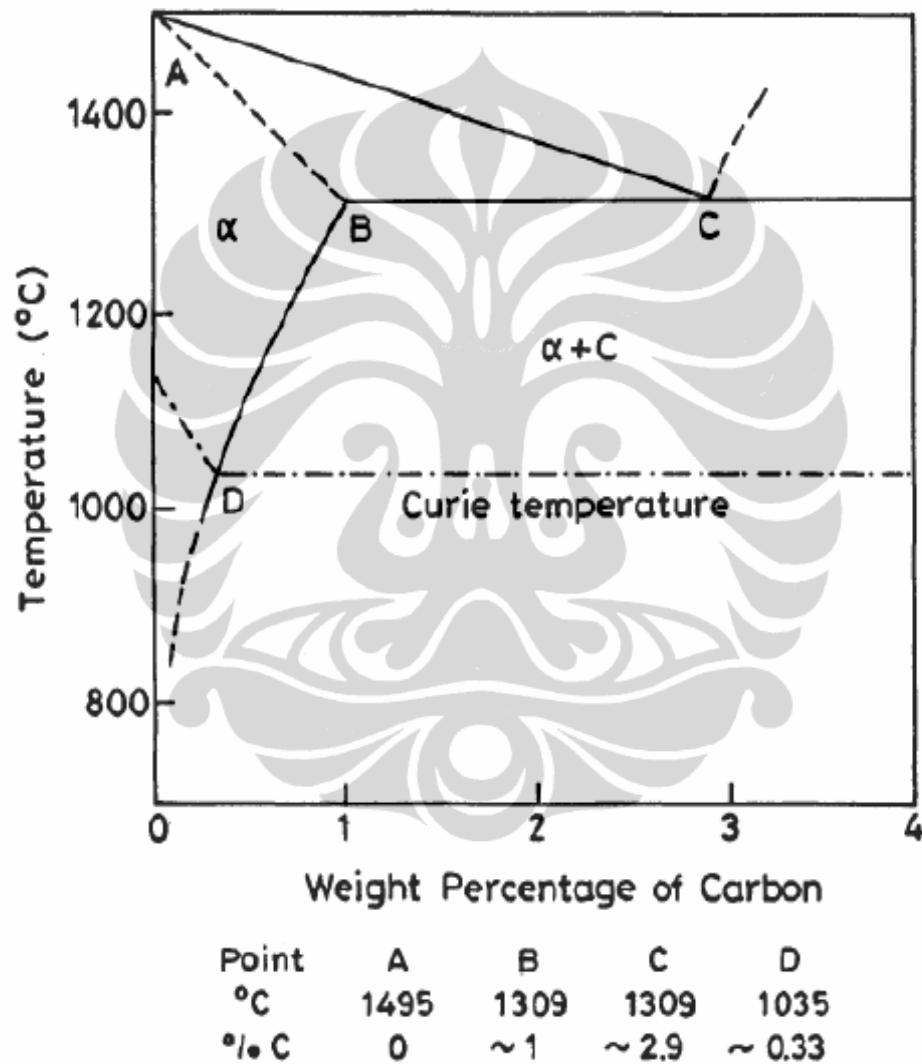
Pada sistem W-C, dua jenis senyawa karbida sering ditemukan yaitu WC dan  $W_2C$  [10]. Baik dalam konsentrasi C tinggi maupun rendah akan terbentuk kedua fasa ini dalam bentuk  $\alpha$ ,  $\beta$  maupun  $\gamma$ -WC dan pada suhu dibawah  $2000^\circ\text{C}$  tidak terjadi transformasi fasa.



Gambar 2.4. Diagram Fasa W-C [10]

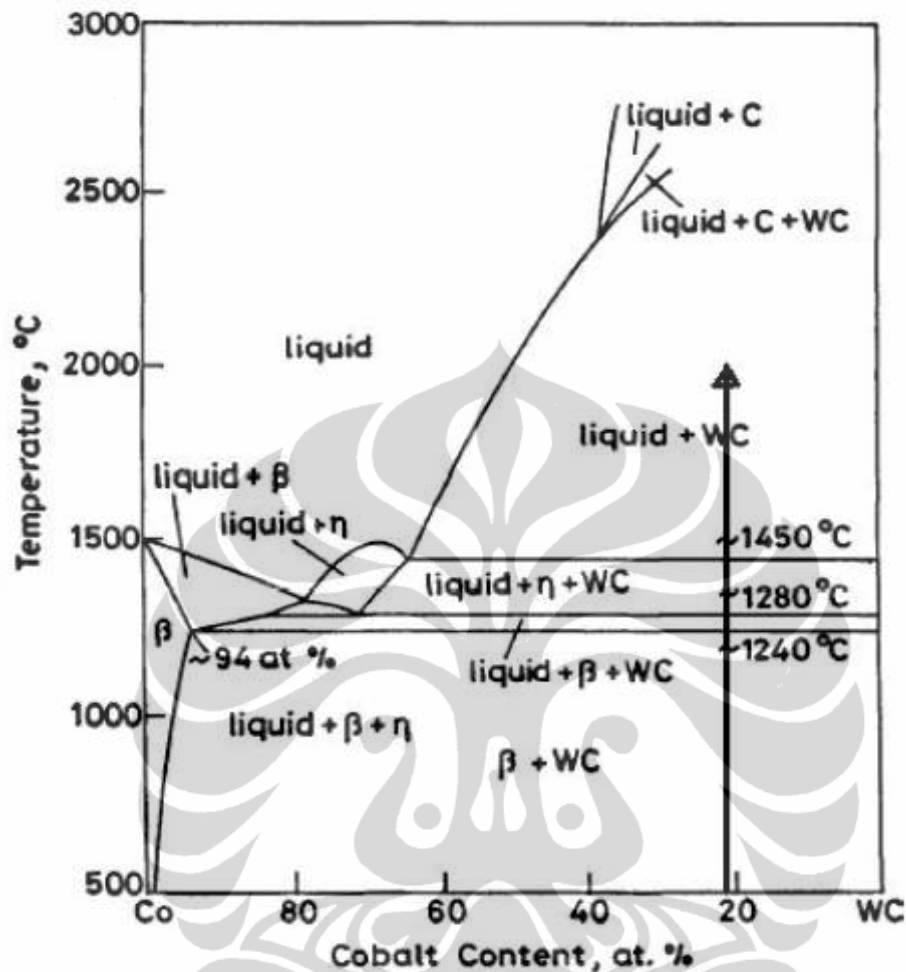
### 2.4.3. Sistem Co-C

Kobalt dalam bentuk cair akan larut pada 3/13 wt/at % karbon di titik cair eutectoid yaitu 1309 °C. Kelarutan kobalt pada karbon sangat berhubungan dengan laju disolusi WC pada Co. Pada *solid state*, karbon tidak dapat bercampur dengan kobalt dan akan mengendap sebagai grafit pada matriks kobalt [10].



Gambar 2.5. Diagram Fasa Co-C [10]

## 2.4.4. Sistem WC-Co



Gambar 2.6. Stoikiometri WC dan Co pada diagram fasa W-Co-C, Tanda panah menunjukkan komposisi [10]

Titik *eutectic* diagram fasa WC-Co terletak pada kandungan Co sebesar 94 % dan pada suhu 1250 °C seperti disajikan pada Gambar 2.6.

## 2.5. Sistem Fe-C

Diagram fasa Fe-C sangat penting untuk diketahui karena merupakan diagram yang digunakan secara luas pada modifikasi material dan juga sebuah *prototype* untuk perubahan mikrostruktur. Saat besi murni dipanaskan hingga temperatur 910 °C struktur kristalnya berubah dari *body centered cubic* (bcc) menjadi *face centered cubic* (fcc) [11]. Dan uniknya apabila dipanaskan hingga

1400°C maka struktur kristalnya akan kembali lagi menjadi bcc. Perubahan mikrostruktur yang terjadi pada sistem Fe-C yaitu :

1. *Ferrite* atau  $\alpha$ -*iron*

Merupakan struktur besi pada temperatur ruang, *ferrite* lunak dan mudah dibentuk, biasanya dikomersialkan dalam bentuk murni. Memiliki kekuatan tarik hingga 45000 psi dan pada temperatur di bawah 767 °C bersifat ferromagnetik. *Ferrite* memiliki kelarutan yang rendah terhadap karbon.

2. *Austenite* atau  $\gamma$ -*iron*

Merupakan fasa stabil besi pada temperatur antara 910-1400 °C. *Austenite* juga lunak dan mudah dibentuk sehingga sangat cocok untuk proses fabrikasi seperti *forging* dan *rolling*. Memiliki kelarutan yang cukup baik pada karbon yaitu 2% dan bersifat paramagnetik.

3.  $\delta$ -*iron*

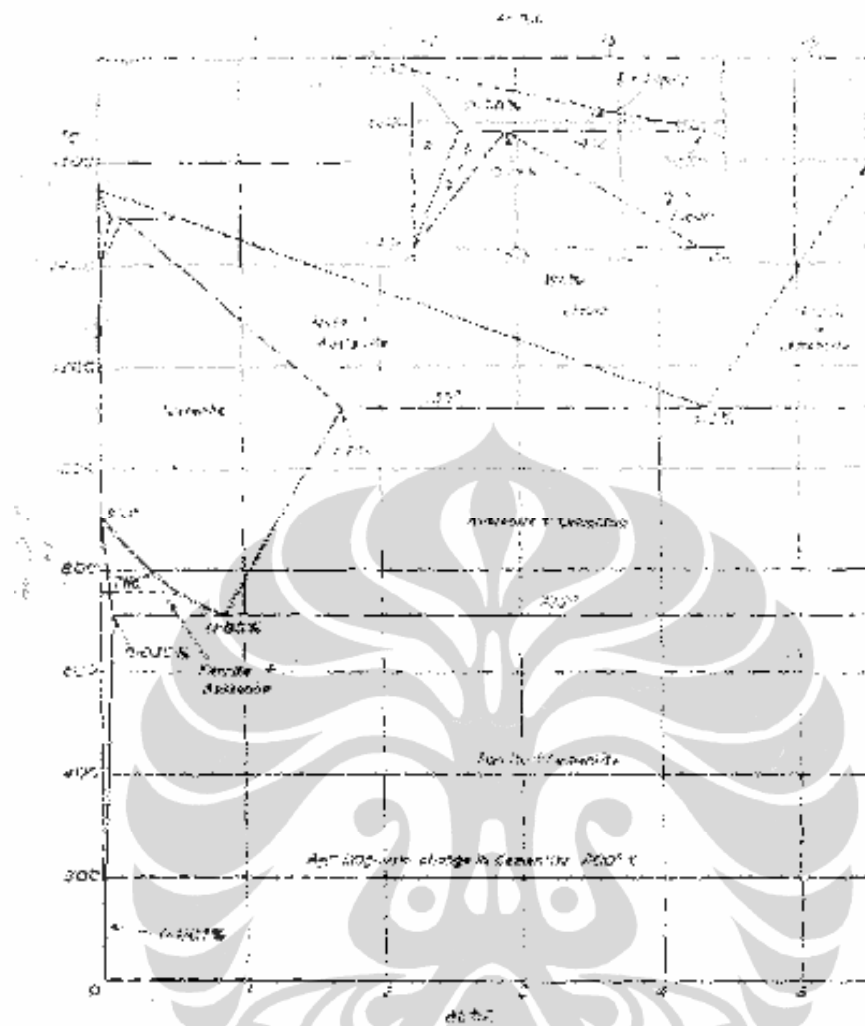
Merupakan fasa stabil besi pada suhu di atas 1400°C dan memiliki struktur kristal bcc. Sifatnya hampir sama dengan *ferrite* dan sangat sedikit larut dalam karbon namun masih lebih baik dibandingkan dengan *ferrite*.

4. *Cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )

Strukturanya ortorombik dan mengandung 6,67% karbon. Jika dibandingkan dengan *austenite* dan *ferrite*, *cementite* sangat keras dan getas karena adanya  $\text{Fe}_3\text{C}$  dan *ferrite*.

5. Fe-C *eutectoid*

Jika Fe-C *eutectoid* diturunkan temperaturnya maka akan terbentuk *ferrite* dan  $\text{Fe}_3\text{C}$  yang berasal dari *austenite* pada komposisi *eutectoid*. Mikrostruktur yang terbentuk berupa *lamellar* dan biasa disebut *pearlite*, merupakan kondisi yang paling diinginkan pada pembuatan baja.



Gambar 2.7. Diagram Fasa Fe-C [12]

## 2.6. Difusi

Bila temperatur meningkat, maka atom-atom dalam suatu material akan bergetar dengan energi yang lebih besar dari biasanya, dimana pada suatu kenaikan temperatur tertentu akan ada sejumlah atom-atom yang akan berpindah dari kisi atom tersebut. Perpindahan sejumlah atom disebabkan adanya energi yang disebut energi aktivasi.

Pada temperatur nol  $^{\circ}\text{K}$  ion logam menduduki tempat dengan potensial  $E_0$  dibawah energi atom bebas. Suhu yang bertambah akan mengakibatkan ion berisolasi tinggi, sehingga pergerakan ini meningkatkan energi sistem. Energi meningkat dengan bertambahnya amplitude getaran. Panas jenis logam hampir seluruhnya berasal dari getaran ion dan sebagian lagi elektron bebas

dengan kapasitas kecil. Atom atau kekosongan yang berpindah dari posisi kisi ke posisi kisi lainnya harus memiliki cukup energi untuk melewati batas energi dan kemungkinan bahwa suatu atom memiliki cukup energi untuk melewati batas yang ditentukan dapat diketahui dengan distribusi Maxwell-Boltzman [13].

Dalam suhu tertentu, tidak semua atom mempunyai energi sama pada suatu saat tertentu. Oleh karena itu terdapat suatu spektrum energi diantara atom-atom, mulai dari nilai yang mendekati nol sampai nilai yang sangat tinggi. Tentu saja sebagian besar atom mempunyai energi mendekati rata-rata. Sebaliknya, untuk suatu periode waktu tertentu, suatu atom tertentu akan dapat memiliki serangkaian nilai energi mulai dari sekitar nol sampai nilai sangat tinggi. Untuk sebagian besar waktunya, energi akan mendekati harga rata-rata. Dengan spektrum energi tadi dapat ditetapkan adanya kemungkinan, bahwa suatu atom mempunyai cukup energi untuk melepaskan ikatannya dan melompat keposisi baru. Jadi jelaslah bahwa gerakan atom atau molekul pada struktur mikro atau reaksi kimia pada material *solid* disebut sebagai difusi. Pada dasarnya proses difusi akan berjalan dengan berbagai mekanisme di berbagai medium, tetapi difusi pada media *liquid* akan berbeda dengan mekanisme yang berlangsung pada media *solid* [13].

#### 2.6.1. Difusivitas

Konstanta  $D$  disebut difusivitas atau koefisien difusi. Tanda negatif (-) artinya  $\vec{J}$  (fluks) bergerak berlawanan arah dengan arah dari gradien konsentrasi. Difusivitas (koefisien difusi)  $D$  tergantung pada faktor-faktor, antara lain : [11]

- a. Jenis atom yang terlarut.
- b. Struktur material padatnya.
- c. Perubahan suhu

Tabel 2.5. Difusivitas Atom [11]

Yang Larut	Pelarut (struktur Induk)	Difusivitas, m <sup>2</sup> /sec	
		500°C	1000°C
1. Karbon	besi kps	(5 x 10 <sup>-15</sup> )	3 x 10 <sup>-11</sup>
2. Karbon	besi kpr	10 <sup>-12</sup>	(2 x 10 <sup>-9</sup> )
3. Besi	besi kps	(2 x 10 <sup>-23</sup> )	2 x 10 <sup>-16</sup>
4. Besi	besi kpr	10 <sup>-20</sup>	(3 x 10 <sup>-14</sup> )
5. Mangan	besi kps	(3 x 10 <sup>-24</sup> )	10 <sup>-16</sup>
6. Tembaga	Tembaga	10 <sup>-18</sup>	2 x 10 <sup>-13</sup>
7. Karbon	Titanium htp	3 x 10 <sup>-16</sup>	(2 x 10 <sup>-11</sup> )

Berdasarkan Tabel 2.5 hubungan difusivitas dan temperatur tersebut, terlihat bahwa ada perbedaan nilai dari koefisien difusi (D). Hal ini dapat dilihat bahwa pada suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan difusivitas yang tinggi pula. Dalam kondisi temperatur yang tinggi, atom-atom memiliki energi thermal yang lebih besar (tinggi), karenanya akan lebih mudah untuk melampaui atau melewati energi penghambat antara atom-atomnya. Ukuran atom yang kecil seperti C, H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> memiliki konstanta difusi (koefisien difusi) D yang lebih besar (>) relatif terhadap atom-atom dengan ukuran yang lebih besar seperti Fe, Ni, Al, dan lain sebagainya.

Konstanta difusi (D) pada struktur *bcc* akan lebih besar dari koefisien pada *bcc* hal ini disebabkan oleh faktor tumpukan padat. Dengan kata lain, atom-atom akan mempunyai difusivitas yang, lebih tinggi dalam struktur *bcc* daripada *fcc* karena *bcc* memiliki faktor penumpukkan (0,68) yang lebih rendah dari *fcc* (0,74). Hal ini terbukti bahwa lubang sisipan (besar kekosongan) dalam struktur *fcc* lebih besar dari *bcc*. Akan tetapi ruang antara sisipannya (pada *fcc*) lebih kecil dibandingkan ruang antara sisipan pada *bcc*. Difusi akan berjalan lebih cepat melalui batas butir (*grain boundary*) karena merupakan daerah cacat kristal. Dengan kata lain, difusi pada batas butir akan lebih mudah terjadi bila dibandingkan dengan di dalam butirnya .

### 2.6.2. Hubungan Difusivitas dan Temperatur

Seperti diketahui bahwa koefisien difusi dipengaruhi oleh temperatur, hal ini dikarenakan pada proses migrasi atom diperlukan energi aktivasi (energi aktivasi pergerakan atom ini tentunya sebanding/setara dengan energi  $E$  dalam persamaan Boltzman).

Banyak percobaan menunjukkan bahwa ketergantungan akan laju difusi terhadap temperatur mengikuti persamaan Arrhenius, yaitu :

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \dots\dots\dots(2.1)$$

Setara dengan  $D = D_0 \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \dots\dots\dots(2.2)$

Dimana :

$D$  : Difusivitas ( $m^2/sec$ ).

$D_0$  : konstanta difusivitas yg tdk bergantung pd temperatur.

$Q$  : energi aktivasi difusi (Joule/mol)

$R$  : konstanta gas ( $R=8,314 \text{ Joule/mol}^0K$ )

( $R = 1,987 \text{ Calori/mol}^0K$ )

### 2.7. Distribusi Kekerasan di daerah *coating*

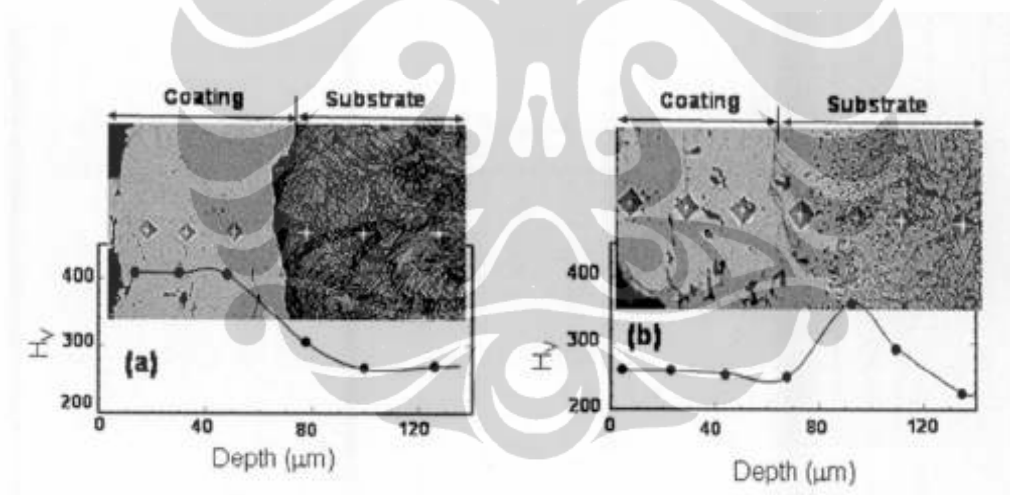
Proses indentifikasi dengan *microhardness* adalah untuk mengetahui kekerasan suatu logam. Standar pengujian *microhardness* untuk *thermal spray coating* adalah dengan *Vickers hardness test* sesuai ASTM E 92. Pengujian *microhardness* sangat dipengaruhi oleh teknik *polishing*, hasil *microhardness* dapat bervariasi hingga 100 unit ketika sampel dipreparasi dengan dua teknik metallografi yang berbeda [12].

Dari Hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [3], difusi yang terjadi dari *coating* ke substrat menyebabkan perubahan mikrostruktur dan sifat mekanis pada bagian *interface*. Pengujian *microhardness* dilakukan pada posisi *cross section* untuk sampel *as-coated* dan setelah perlakuan panas pada daerah sekitar *interface coating* dan *substrat*. Gambar 2.8.(a) memperlihatkan distribusi



*microhardness* pada sampel *as-coated*. Gambar *background* menggambarkan hasil titik indentasi aktual. Pada daerah *coating*, semua titik pengukuran mengindikasikan nilai yang hampir sama yaitu pada kisaran 400 Hv. Sedangkan pada daerah *interface*, nilai *microhardness* sedikit meningkat jika dibandingkan dengan daerah *coating*. *Microhardness* pada daerah substrat yaitu 240 Hv sesuai untuk *martensite*.

Gambar 2.8. (b) menunjukkan *microhardness* sampel setelah perlakuan panas pada temperatur 750°C selama 1000 jam. Pada bagian *coating*, nilai *microhardness* berkurang hingga 250 Hv. Pada hasil HVOF terjadi dislokasi yang dapat meningkatkan kekuatan *coating*. Sedangkan perlakuan panas dan tingginya temperatur menyebabkan terjadinya proses *annealing*. Hal ini menyebabkan peningkatan *microhardness* pada *interface* hingga 340 Hv sedangkan *microhardness* pada substrat tidak berubah jika dibandingkan dengan sampel *as-coated* [3].

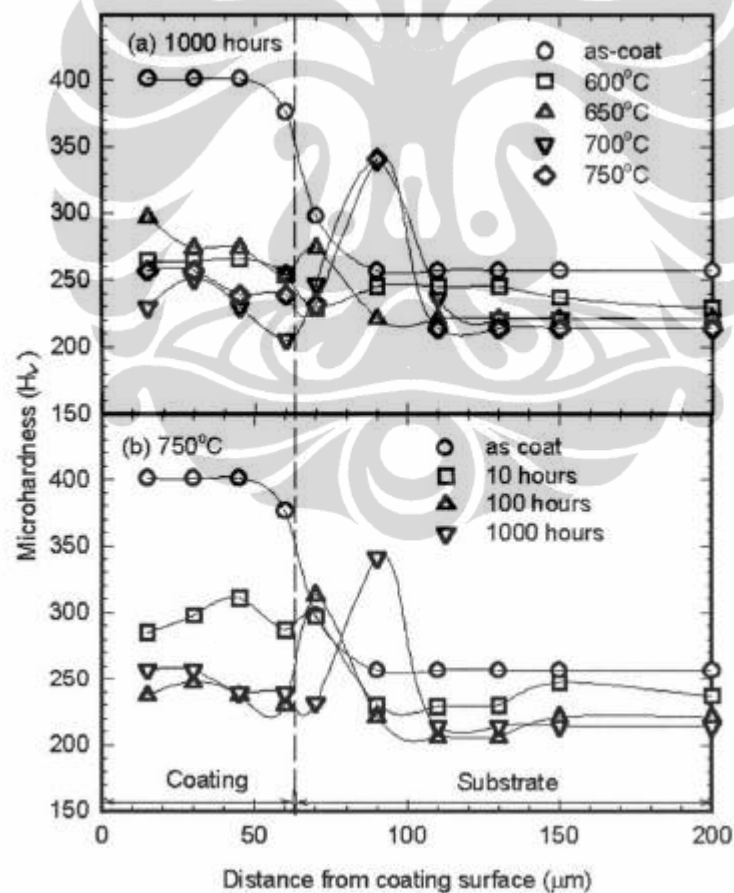


Gambar 2.8. Distribusi *microhardness* (a) sampel *as-coated* (b) sampel setelah perlakuan panas 750°C selama 1000 jam [3]

Gambar 2.9. (a) memperlihatkan pengaruh temperatur terhadap variasi *microhardness* di daerah *coating*, *interface* maupun substrat setelah perlakuan panas 1000 jam. Pada daerah *coating*, nilai *microhardness* turun jika dibandingkan dengan sampel *as-coated*. Sampel setelah perlakuan panas 600°C pada daerah *interface* memperlihatkan nilai *microhardness* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan substrat. Sedangkan untuk sampel setelah perlakuan panas

650°C memperlihatkan sedikit kenaikan di daerah *interface* dan sampel setelah perlakuan panas 700 dan 750°C memperlihatkan kenaikan yang cukup signifikan pada daerah *interface*. Kenaikan nilai *microhardness* disebabkan oleh pembentukan *interface* pada semua temperatur kecuali untuk temperatur 650°C [3].

Gambar 2.9. (b) memperlihatkan pengaruh waktu perlakuan panas terhadap *microhardness* pada suhu 750°C. Setelah perlakuan panas 10 jam nilai *microhardness* lebih tinggi dibandingkan dengan sampel setelah perlakuan panas 100 dan 1000 jam. Pada daerah *interface*, sampel setelah pemanasan 10 dan 100 jam menunjukkan sedikit kenaikan *microhardness* sedangkan untuk 1000 jam terdapat kenaikan yang cukup signifikan [3].

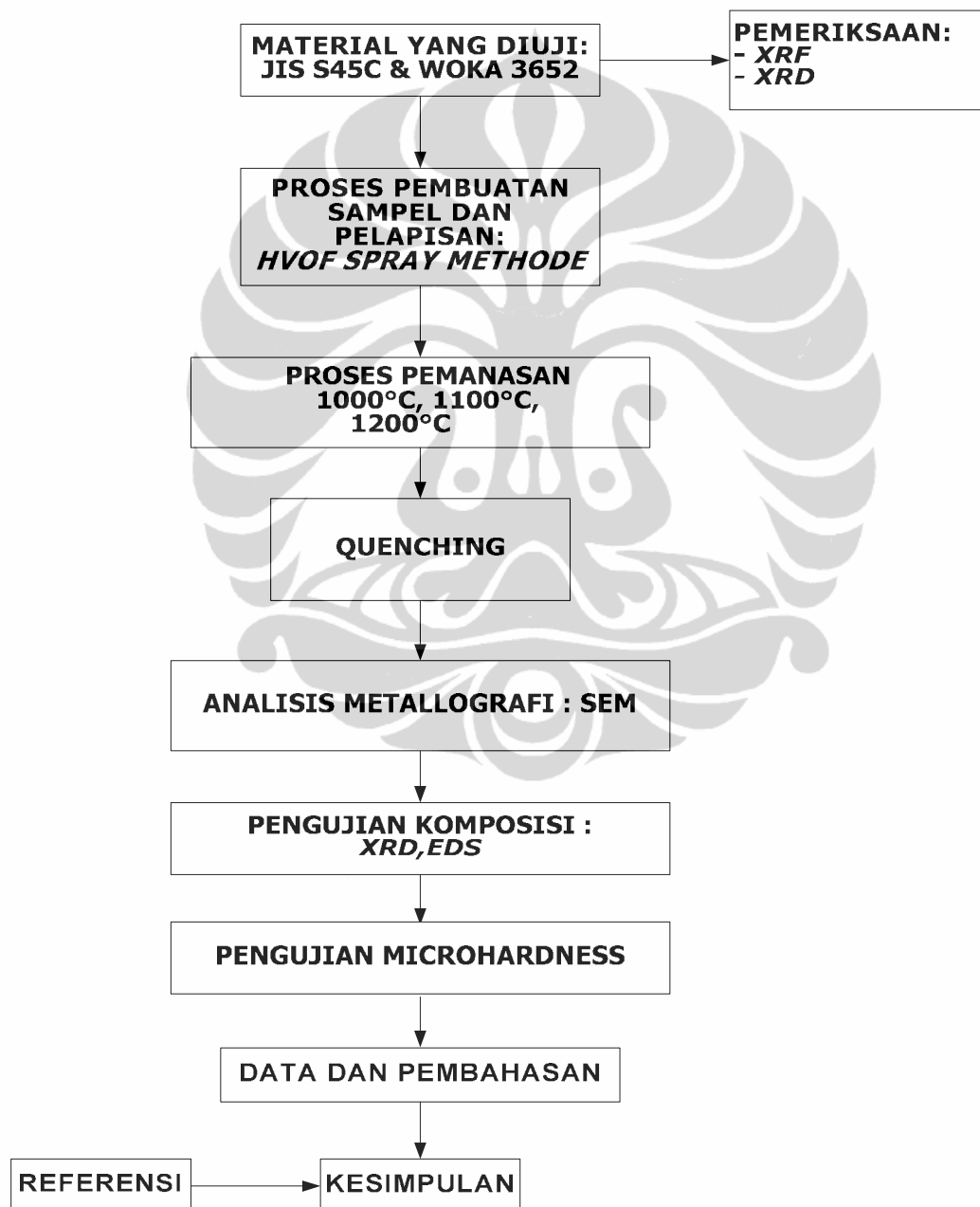


Gambar 2.9. Hasil *microhardness* setelah perlakuan panas berdasarkan perbedaan (a) temperatur (b) durasi [3]

### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Untuk mengetahui mikrostruktur baja JIS S45C hasil difusi paska pelapisan HVOF dilakukan beberapa tahapan penelitian seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2. BAHAN DASAR PENELITIAN

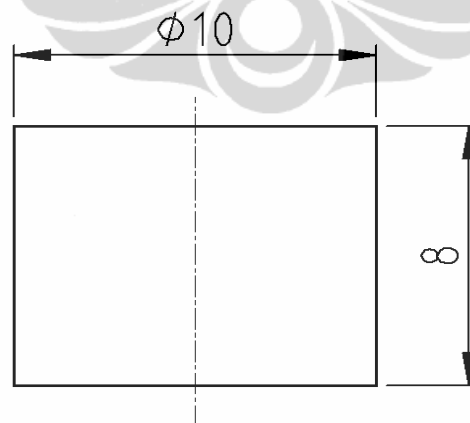
Pada penelitian ini, material *base metal* yang digunakan sama dengan material yang digunakan pada komponen turbin yaitu baja JIS S45C yang dibeli di pasaran berbentuk batangan (*rod*) berdiameter 0,5 in. ( $\pm 12,9$  mm). Untuk proses *grit blasting* digunakan *grit*  $Al_2O_3$  dengan ukuran 24 mesh dan untuk proses *spraying coating powder* yang digunakan adalah serbuk WC-Co produksi Sulzer Metco dengan kode WOKA 3652 dengan ukuran partikel 20  $\mu m$ .

### 3.3. TAHAPAN PENELITIAN

#### 3.3.1. Proses Pembuatan Sampel

##### 1. Pembentukan Sampel

Untuk memperoleh dimensi sampel dengan tinggi 8 mm dan diameter 10 mm dilakukan pemotongan dengan gerinda (*High Speed Abrasive Cutting*) kemudian salah satu permukaan sampel dilakukan proses permesinan (*machining*) untuk mendapatkan permukaan yang rata dan tegak lurus terhadap tinggi sampel. Lalu dilanjutkan dengan pengikiran bagian tepi permukaan lingkaran benda uji yang akan dilapisi kemudian setelah semua proses pembentukan selesai dilakukan pengukuran dimensi awal sampel dengan jangka sorong guna memastikan keseragaman dimensi awal seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Dimensi Sampel (mm)

## 2. Preparasi Permukaan

Tujuan dari proses preparasi permukaan adalah mempersiapkan substrat agar memiliki kondisi yang sesuai untuk proses pelapisan. Preparasi yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan, yang pertama yaitu proses pembersihan permukaan (*degreasing*) dengan *thinner* bertujuan untuk membersihkan permukaan sampel dari kotoran, minyak atau produk korosi yaitu dengan menggunakan kain yang dicelupkan kedalam *thinner* dan kemudian menggosokkannya ke permukaan substrat.

Langkah kedua yaitu pengeringan (*drying*) dengan mendekatkan nyala api berbahan bakar LPG selama 1 menit yang bertujuan untuk menghilangkan *thinner* yang masih tersisa pada substrat. Selanjutnya dilakukan proses *grit blasting* dengan alat *suction blast* yang bertujuan untuk mengkasarkan permukaan sampel dan menghilangkan sisa kotoran melalui penumbukan partikel abrasif yang disemprotkan dengan udara bertekanan. Material *grit blast* yang digunakan adalah Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ) berukuran 24 *mesh*. Untuk mengkondisikan sampel agar memiliki tingkat kekasaran permukaan yang sama, maka digunakan tekanan *grit blast* yang seragam yaitu 5 bar. Pengasaran permukaan dihentikan jika seluruh permukaan substrat (permukaan yang akan dilapisi) telah seutuhnya menjadi kasar (warna permukaan substrat berbeda dengan warna permukaan substrat sebelum *di-blasting*). Permukaan yang telah *di-blasting* harus dijaga kebersihannya dan harus segera dilapisi untuk mencegah adanya kontaminasi ataupun oksidasi permukaan.

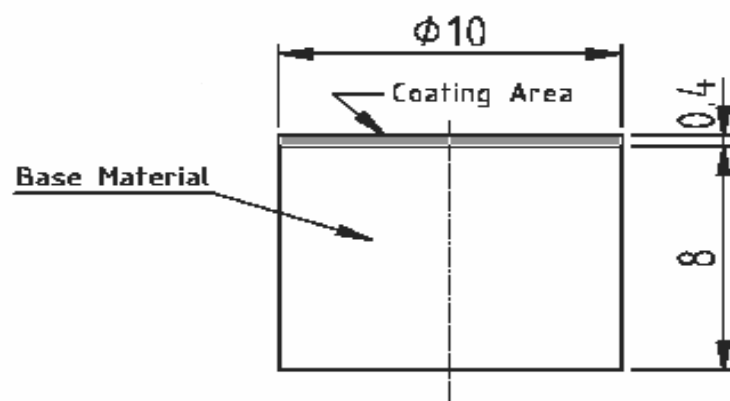
## 3. Pelapisan (*spraying*) dengan metode *HVOF-Thermal Spray*

Langkah pertama yang dilakukan pada proses pelapisan adalah pemasangan sampel pada penjepit kemudian pengaktifan mesin HVOF dan pengaturan parameter proses, seperti tercantum pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Parameter Proses HVOF

Spray Parameter	Satuan
Bahan Bakar	Propane
Laju alir bahan bakar	0.379 L/min
Tekanan bahan bakar	3.0-3.2 bar
Laju alir oksigen	861 L/min
Tekanan oksigen	13.5-13.6 bar
<i>Powder feed gas</i>	nitrogen
Tekanan nitrogen	6.0-6.2 bar
<i>Torch transverse speed</i>	700 mm/s
Laju pengumpanan	40 rpm
Jarak <i>Spray</i>	240 mm

Selanjutnya pemanasan awal (*preheating*) sampel dengan *gun* HVOF tanpa menggunakan serbuk pelapis, pemanasan yang dilakukan sebanyak 2 *pass*. Kemudian dilakukan pelapisan benda uji dengan serbuk WC-Co dengan mengarahkan ujung *gun* membentuk sudut  $\pm 90^\circ$  dengan jarak  $\pm 30$  cm. Pelapisan dilakukan beberapa *pass* hingga mencapai ketebalan lapisan 0.4 mm seperti terlihat pada Gambar 3.3. Setelah proses *spray* maka benda uji dibiarkan mendingin dan dilepaskan dari penjepit. Kemudian dilakukan pengukuran ketebalan lapisan dengan jangka sorong.



Gambar 3.3. Dimensi Benda Uji Hasil Pelapisan HVOF (mm)

### 3.3.2. Proses Perlakuan Panas

Pemanasan dilakukan pada temperatur 1000°C, 1100°C, 1200°C. Untuk menghindari oksidasi maka proses pemanasan dilakukan pada kondisi vakum, setelah *furnace* dipanaskan sesuai temperatur yang diinginkan kemudian sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dan ditahan hingga waktu yang telah ditentukan (2,12, 20, 24 dan 26 jam) lalu dilakukan *quenching* dengan air.

### 3.3.3. Analisis metalografi

Analisis metalografi dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur permukaan sampel. Guna memperoleh mikrostruktur pada posisi *cross section* maka material hasil pemanasan dipotong menggunakan *cutting machine* dengan ukuran rata-rata 5 mm x 10 mm. Selanjutnya untuk mempermudah penanganan maka sampel yang sudah memperoleh perlakuan panas dan *as-coated* dimounting dengan alat *mounting press* untuk memudahkan proses preparasi.

Proses dilanjutkan dengan polishing sampel dengan melakukan *grinding* menggunakan kertas amplas *Silicon Carbon* dengan *grade* 300, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500. Untuk mengurangi panas yang ditimbulkan akibat gesekan dan perputaran alat tersebut maka dialirkan air. Selanjutnya proses *polishing* dilanjutkan dengan *diamond paste* ukuran 0,1 mikron. Pada proses *polishing* ini sampel dibuat sampai bebas goresan akibat proses *grinding* dan cacat lain, sehingga permukaan tampak seperti cermin lalu dicuci dengan air dan alkohol.

Proses etsa dilakukan untuk memperoleh hasil mikrostruktur yang baik (dapat dilihat dengan OM maupun SEM). Sampel di etsa dengan dua macam larutan, yaitu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan HNO<sub>3</sub>. Berdasarkan hasil percobaan, proses etsa terbaik yaitu pada durasi 10 detik, larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk bagian *coating* dan HNO<sub>3</sub> untuk bagian *base metal*. Selanjutnya untuk menghilangkan sisa larutan etsa maka sampel dibilas dengan air dan alkohol dan dikeringkan dengan *dryer* kemudian sampel siap diambil gambar mikrostrukturnya dengan

SEM guna analisis struktur.

### 3.3.4 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan pada keadaan sampel *as-coated* dan sampel pada keadaan setelah proses laku panas. Peralatan yang digunakan adalah XRF (*X-Ray Fluorescence*), XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*).

Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur material. Sampel yang diuji dengan menggunakan XRF adalah *base metal* dan *coating powder*. Sedangkan pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa yang ada dan baru terbentuk setelah proses perlakuan panas. Sampel yang diuji dengan menggunakan XRD adalah *base metal*, *coating powder* dan sampel *as-coated* serta sampel setelah perlakuan panas yaitu pada sisi *coating*.

Untuk mengetahui mikrostruktur dan juga daerah yang akan dijadikan sasaran tembak pada saat menggunakan EDS dilakukan pengujian dengan SEM. Selanjutnya adalah menggunakan *mapping* untuk mengetahui distribusi unsur-unsur yang ada pada daerah luasan tersebut. Sampel yang diuji yaitu pada sampel *as-coated* dan sampel yang mengalami perlakuan panas yang tertinggi yaitu pada suhu 1200°C dan waktu 24 jam. Hal ini dimaksudkan melihat perubahan distribusi material yang terjadi, apakah ada perubahan atau tidak.

### 3.3.5. Pengujian *microhardnes*

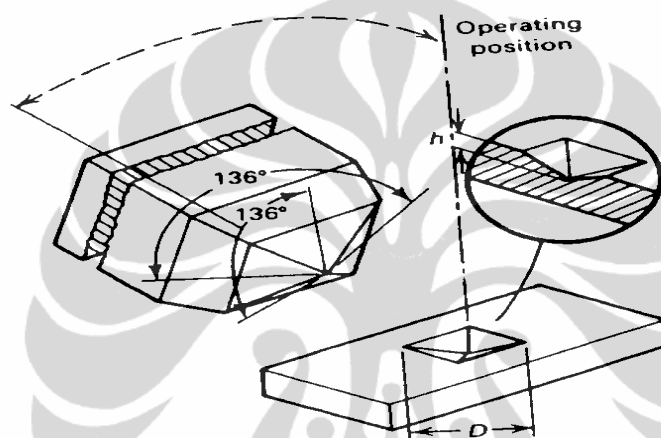
Proses indentifikasi dengan *microhardness* adalah untuk mengetahui kekerasan suatu logam. Standar pengujian *microhardness* untuk *thermal spray coating* adalah dengan *Vickers hardness test*. Seperti terlihat pada gambar 3.4, pengujian *microhardness* vickers menggunakan indentor intan berbentuk piramida yang membentuk sudut 136°. Nilai yang diperoleh sebagai hasil *microhardness* vickers diperoleh dari beban yang dikalikan dengan luas area indentasi, yaitu :  
[12]



$$HV = [2P \sin (\theta)]/L^2 = 1.8544 P/L^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

- P : beban yang digunakan (kg)  
 L : rata-rata lebar diagonal (mm)  
 $\theta$  : sudut antar sisi diamond (136°)  
 HV : nilai hardness vickers (kg/mm<sup>2</sup>)



Gambar 3.4. Skema indentasi piramida intan pada pengujian Hardness Vickers  
 [12]

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan bahan terhadap deformasi plastis atau perubahan bentuk yang tetap. Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kekerasan Vickers sesuai dengan standar ASTM E 92 dengan beban 500 kgf dan waktu pembebanan (*loading time*) 15 detik. Kekerasan dari bahan dapat diketahui dengan mengukur luas hasil penekanan dari indentor alat tersebut (penekan piramida intan) dengan sudut bidang dua 136° dan dasar berbentuk segi empat. Kemudian dihitung harga rata-rata pada kedua panjang garis diagonal tersebut.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat *microhardness* SHIMADZU HMV-2000. Sampel yang diuji adalah sampel pada sampel *as-coated* dan seluruh sampel yang mengalami perlakuan panas. Pengujian dilakukan dengan penjejakan dengan indenter masing-masing dengan jarak 100 mikron dimulai dari *coating* hingga *base metal*.



## BAB IV HASIL DAN DISKUSI

Berikut ini, hasil eksperimen disusun dan ditampilkan dalam bentuk Tabel *XRD* (*X-Ray Diffractometer*), mikroskop dengan optik dan Grafik. Eksperimen yang dilakukan menggunakan peralatan sebagai berikut : *SEM* (*Scanning electron microscope*) ,*EDS* (*Energy Dispersive Spectrometer*) dan uji kekerasan. Pembahasan hasil diarahkan kepada efek (pengaruh) temperatur terhadap distribusi unsur, *Interface* dan kekerasan .

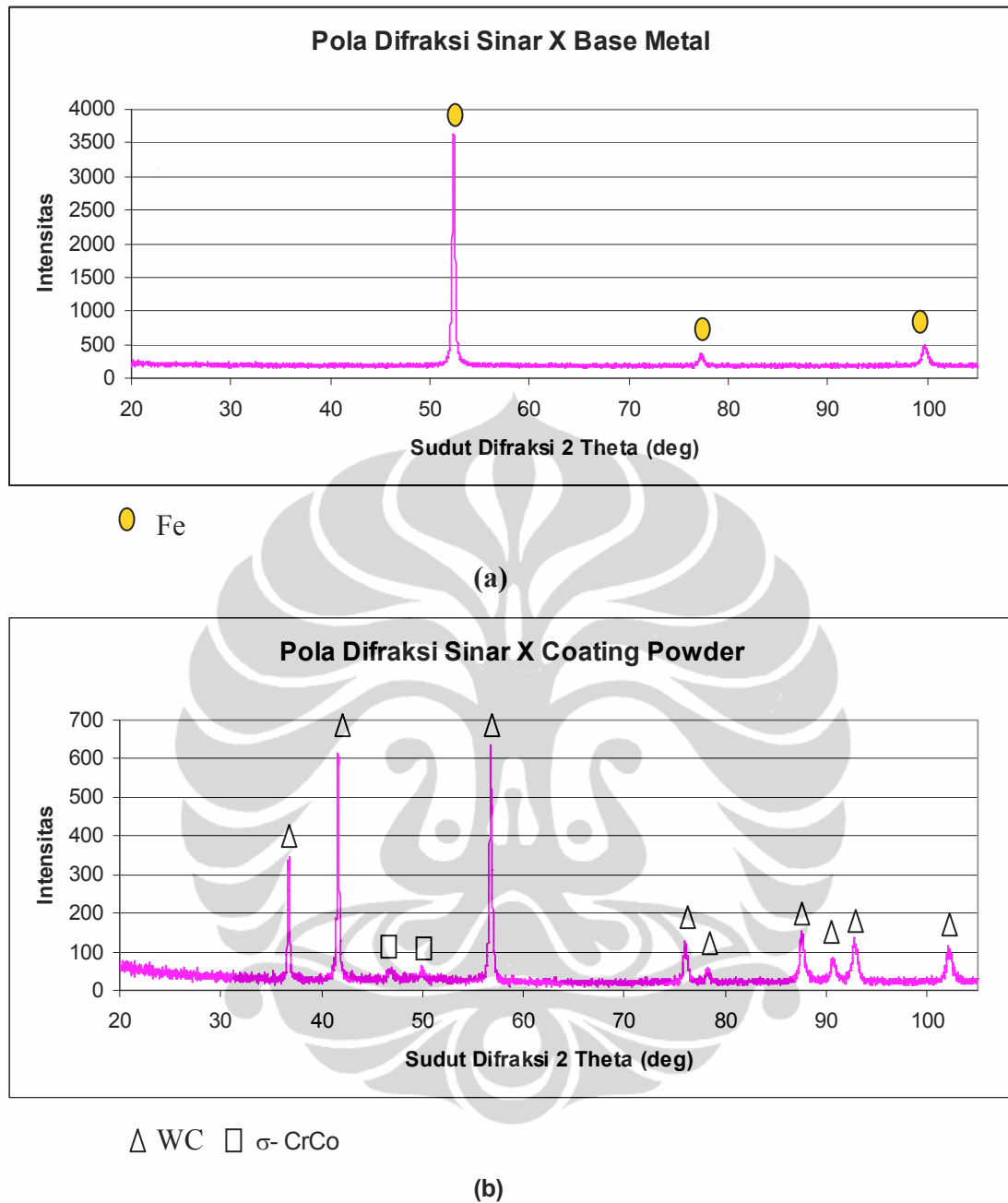
### 4.1. Karakterisasi *base metal* dan *coating powder*

Kandungan unsur kimia didalam *base metal* dan *coating powder* yang diperiksa menggunakan *XRF* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kandungan Unsur dengan XRF

<i>Base metal JIS S45C</i>		<i>Coating Powder WOKA 3652</i>	
UNSUR	wt%	UNSUR	wt%
Fe	96.4935	W	87.1500
Cr	0.4050	Co	8.9642
Mn	0.7989	Cr	3.8858
Si	1.7365		
Al	0.5662		

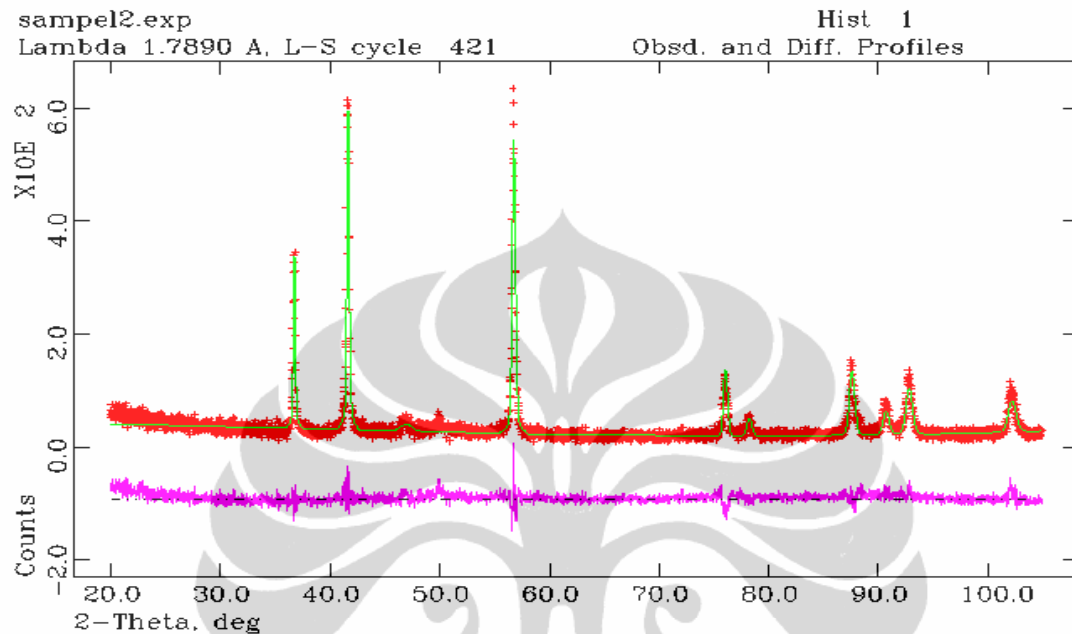
Hasil yang diperoleh cukup konsisten untuk masing-masing kandungan unsur yang terdapat dalam lapisan metal JIS S45C dan *coating powder* WOKA 3652. Interpretasi awal terhadap hasil pengukuran menunjukkan hampir seluruh logam penyusun dominan terdeteksi kecuali unsur C, P dan S. Bila dilihat dari Tabel 4.1 baja JIS S45C adalah *medium carbon steel*. Hasil pola difraksi sinar X pada permukaan *base metal* dan *coating powder* dengan ketinggian puncak (intensitas) dan sudut 2 theta diinterpretasikan untuk memeriksa fasa-fasa yang terjadi pada masing-masing daerah tersebut seperti yang terdapat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Pola difraksi Sinar X (a) *Base Metal* JIS S45C; (b) *Coating Powder* WOKA 3652

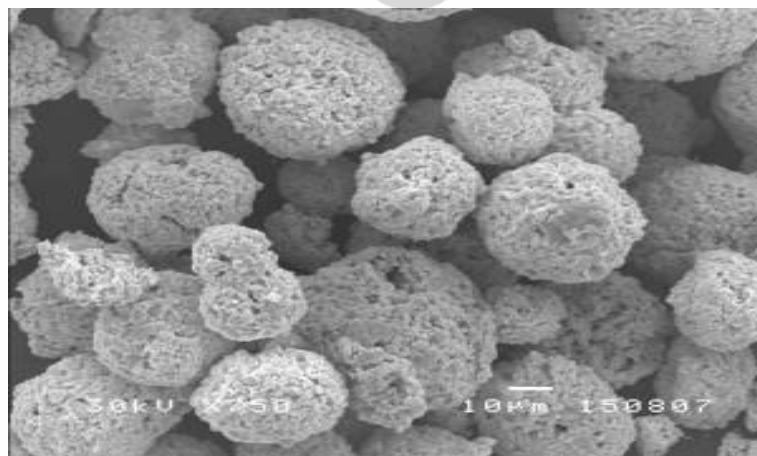
Hasil difraksi sinar X pada *base metal* teridentifikasi hanya terdapat unsur Fe saja, sedangkan pada *coating powder* diperoleh dominan WC dan sedikit  $\sigma$ -CrCo. Di samping itu hasil kandungan unsur-unsur pada *base metal* dan *coating powder* sesuai dengan unsur yang tertera pada material data *sheet* [5] meskipun masih terdapat perbedaan pada jumlah fraksi unsur tersebut. Hal ini sangat memungkinkan

terjadi, mengingat analisis XRF hanya bersifat semi kuantitatif karena sejumlah unsur seperti C, N, H, B, O yang merupakan unsur-unsur ringan tidak dapat terdeteksi oleh XRF.



Gambar 4.2. Grafik pengolahan GSAS *coating powder*

Hasil pengolahan GSAS *coating powder* menunjukkan fraksi berat untuk WC adalah 84, 2 % sedangkan  $\sigma$ - CrCo 15,8 %. Jika dibandingkan dengan fraksi berat unsur pada XRF, tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan.



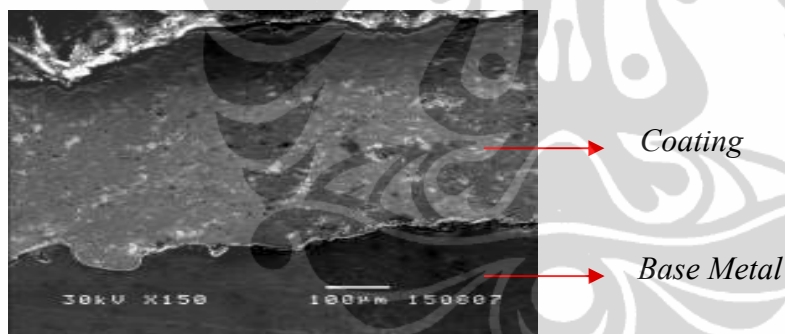
Gambar 4.3. Foto SEM *coating powder* WOKA 3652 dengan perbesaran 750 x

Hasil SEM menunjukkan butiran *spheroidal* dan aglomerasi dengan ukuran partikel yang cukup bervariasi yaitu antara 40-50  $\mu\text{m}$ . hal ini sesuai dengan yang tercantum pada sertifikat yaitu sebesar 86.09% berukuran 20-45  $\mu\text{m}$ , 4.09% berukuran 45-53  $\mu\text{m}$  dan sisanya berukuran 53-63  $\mu\text{m}$ .

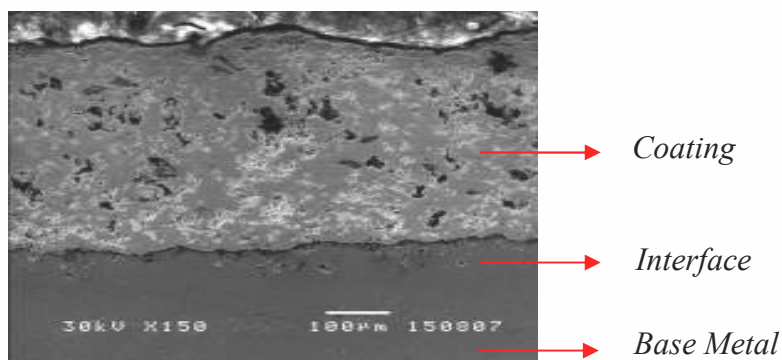
## 4. 2. Mikrostruktur *coating* dan morfologi

### 4.2.1 Mikrostruktur permukaan *coating* dengan SEM

Pada Gambar 4.4 terlihat hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) posisi *cross section* untuk sampel *as-coated* dan setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam. Sampel *as-coated* terlihat padat diharapkan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap erosi dan abrasi dengan ketebalan *coating* 376  $\mu\text{m}$ . Pada sampel setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam terbentuk *interface* yang cukup besar dan terlihat *coating* menempel kuat pada substrat dengan ketebalan lapisan *coating* sebesar 352  $\mu\text{m}$ .



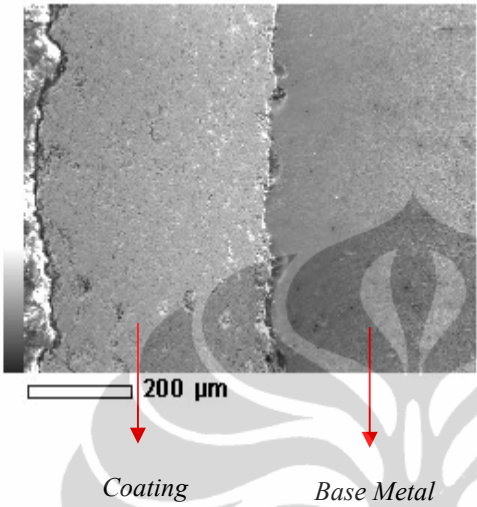
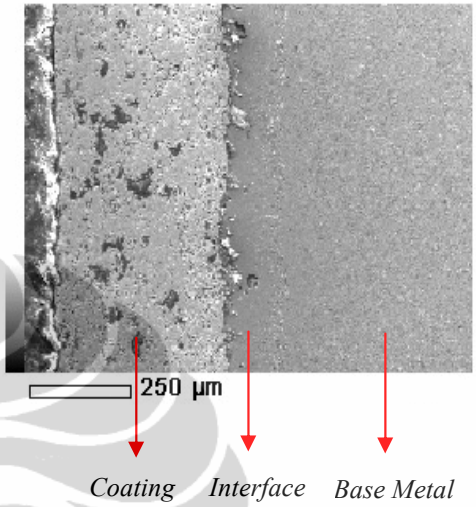
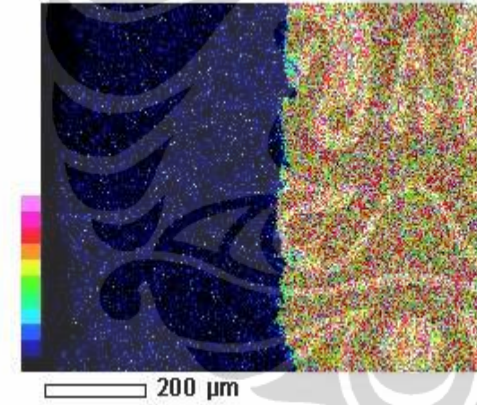
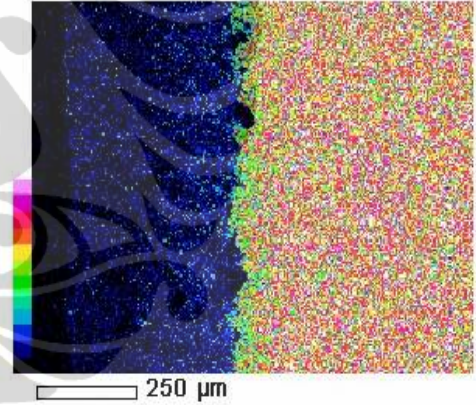
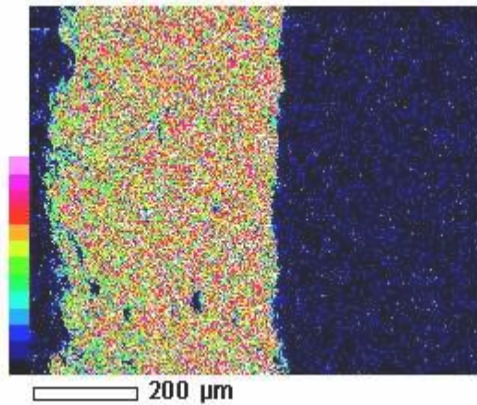
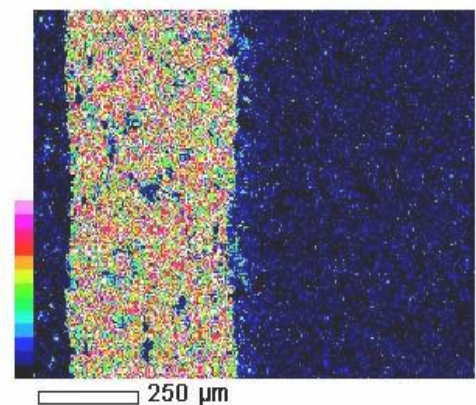
(a)

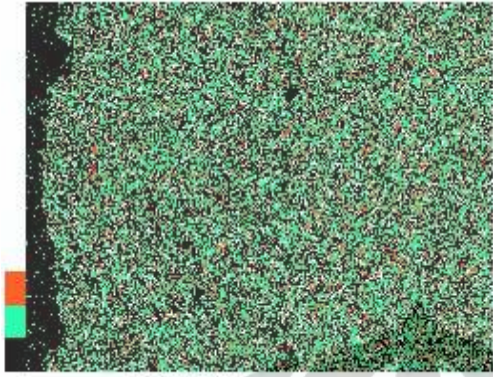
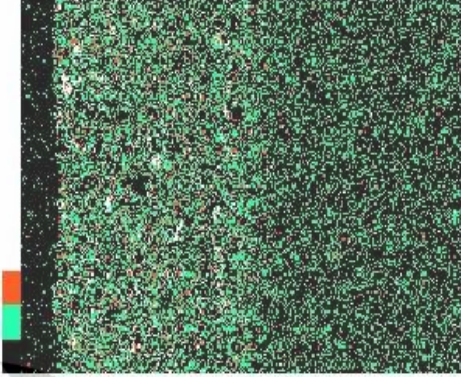
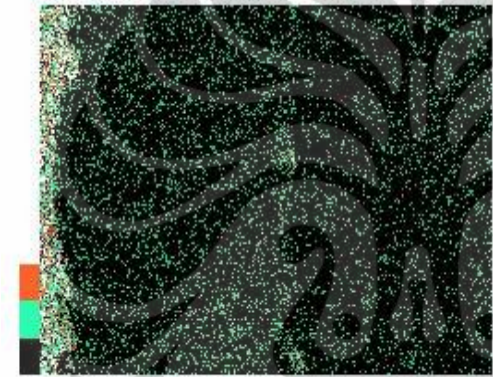
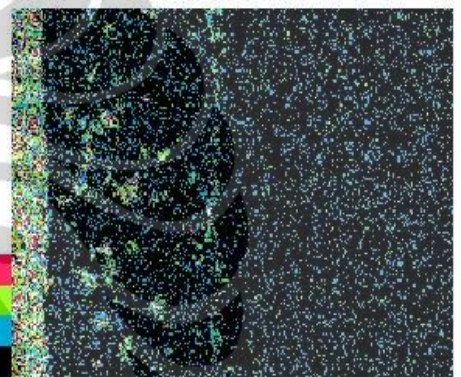


(b)

Gambar 4.4. Hasil SEM *cross section* JIS S45C dilapisi serbuk WC-Co : (a) *as-coated*; (b) setelah perlakuan panas 1200°C selama 24 jam

## 4.2.2 Hasil Mapping

Unsur	Kondisi Sampel	
	<i>As-coated</i>	Perlakuan Panas 1200°C 24 jam
<i>Preview</i>	 <p>200 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>Coating Base Metal</p>	 <p>250 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>Coating Interface Base Metal</p>
Fe	 <p>200 <math>\mu\text{m}</math></p>	 <p>250 <math>\mu\text{m}</math></p>
W	 <p>200 <math>\mu\text{m}</math></p>	 <p>250 <math>\mu\text{m}</math></p>

Unsur	Kondisi Sampel	
	<i>As-coated</i>	Perlakuan Panas 1200°C 24 jam
Co		
C		

Gambar 4.5. Hasil Mapping sampel *as-coated* dan sampel setelah perlakuan panas 1200 °C selama 24 jam

Gambar 4.5 menunjukkan *elemental mapping* perbandingan sampel *as-coated* dan sampel setelah perlakuan panas 1200 °C selama 24 jam. Pada sampel *as-coated*, Fe terdapat pada *base metal* dan W terdapat pada daerah *coating* dan menunjukkan batas konsentrasi yang terlihat sangat jelas antara *coating* dengan *base metal*. Sedangkan Co terdapat daerah di *coating* maupun *base metal* dalam intensitasnya yang sama besarnya. Unsur C terdapat merata di daerah *coating* maupun *base metal* namun dalam intensitas yang kecil.

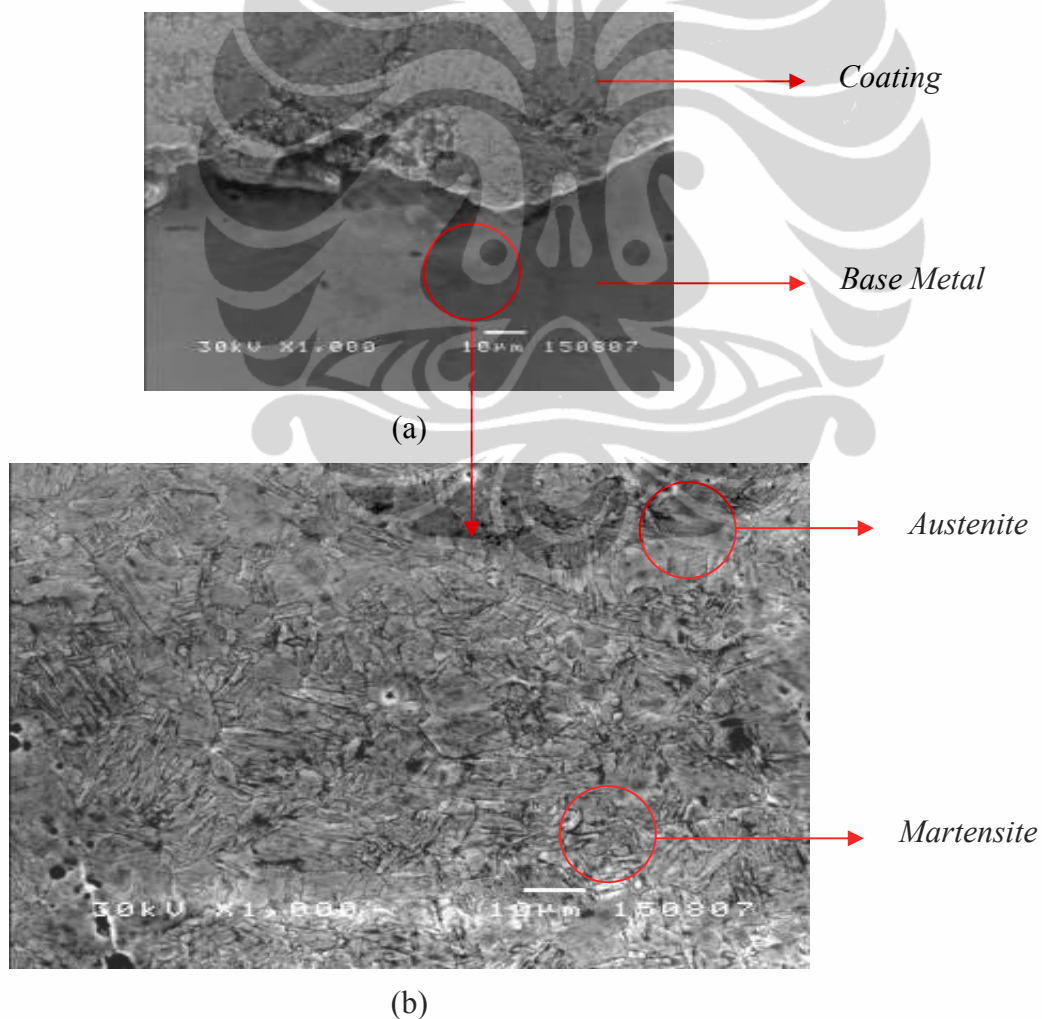
*Elemental mapping* untuk sampel setelah perlakuan panas 1200 °C selama 24 jam menunjukkan Fe dalam intensitas yang tinggi berada di bagian *coating* dan pada daerah *interface* dengan *base metal* terlihat Fe berekspansi ke dalam *coating*.



Unsur W tidak terjadi interdifusi terlihat dari tingginya intensitas W di permukaan *coating*, sedangkan Co terdistribusi di *coating* dan *base metal* namun intensitasnya lebih tinggi di bagian *coating* membentuk  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ .

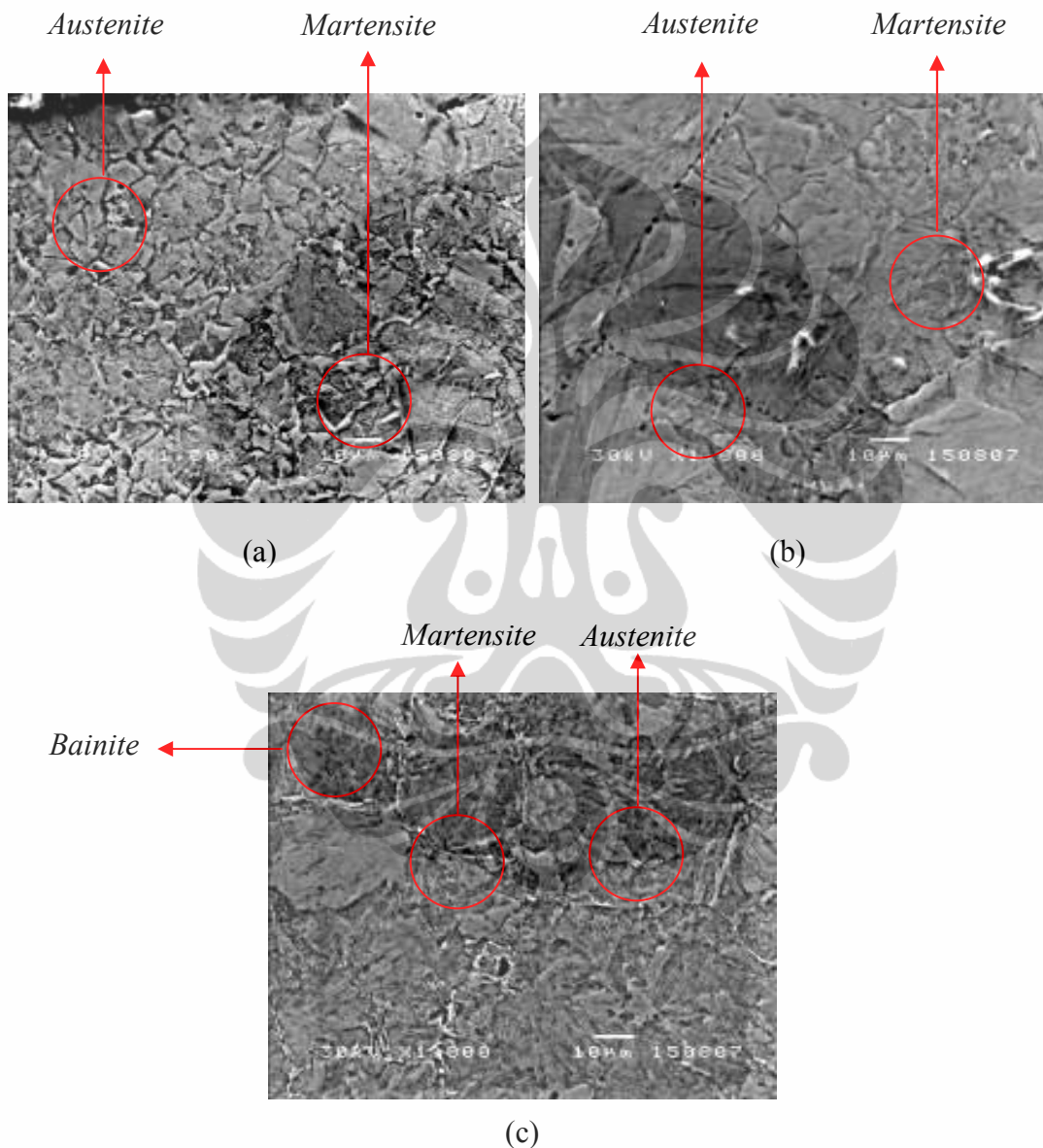
#### 4.3. Mikrostruktur *Base Metal*

Pengujian SEM dilakukan setelah proses *etching* pada posisi *cross section* untuk menginvestigasi mikrostruktur permukaan sampel. Gambar 4.6 (a) memperlihatkan batasan yang sangat jelas antara *coating* dan substrat. *Coating* terlihat cukup padat namun tidak rata pada bagian *interface* antara *coating* dengan *base metal*. Dari Gambar 4.6 (b) terlihat *base metal* sebagai struktur *martensite* dan *austenite*.



Gambar 4.6. Hasil SEM sample *as-coated*

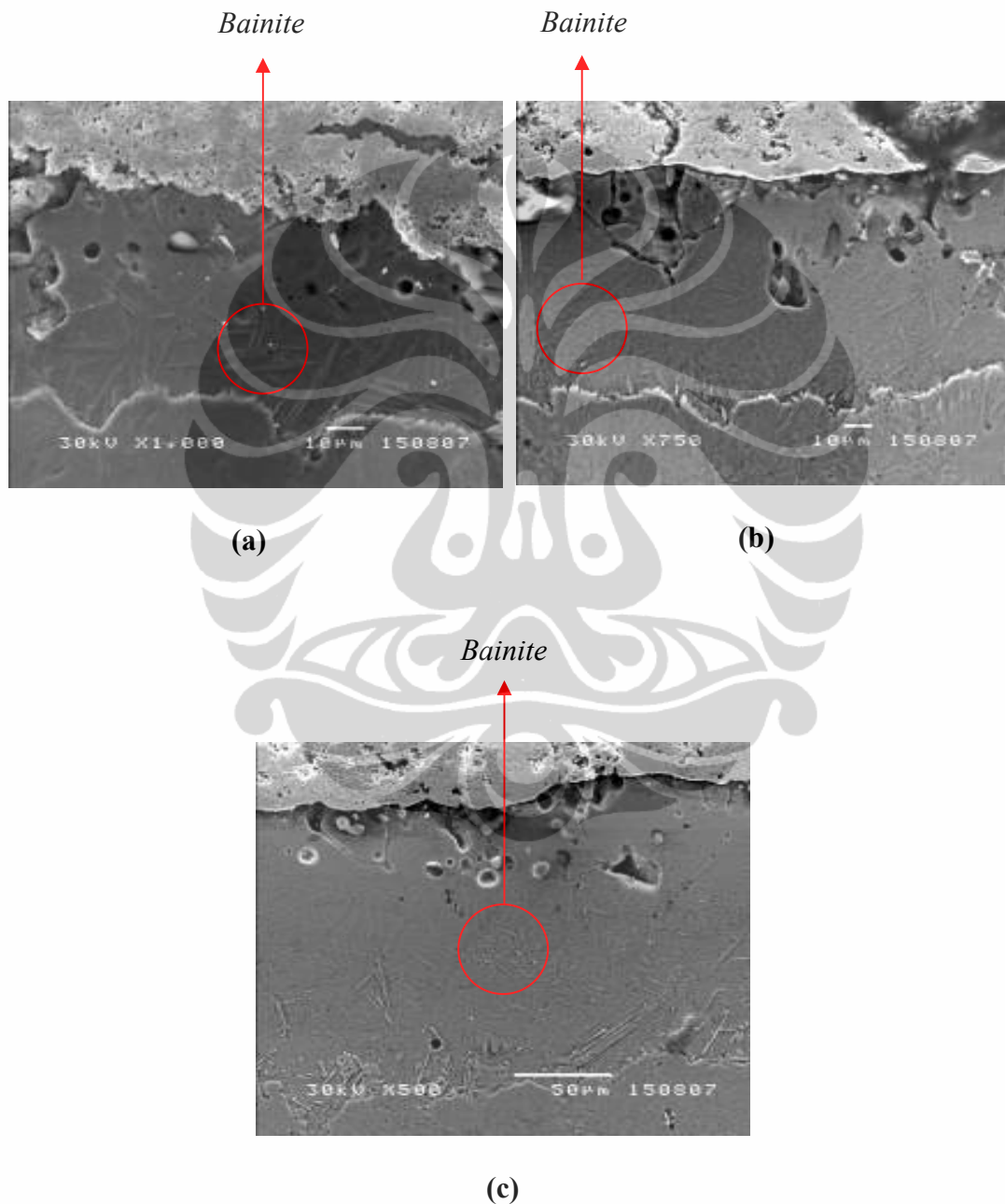
Mikrostruktur permukaan *base metal* setelah perlakuan panas selama 24 jam terlihat pada Gambar 4.7. Pada suhu 1000 °C (Gambar 4.7.a) dan 1100 °C (Gambar 4.7.b) terlihat struktur *austenite* dan *martensite* sedangkan pada suhu 1200 °C terlihat struktur *austenite*, *martensite* dan *bainite*.



Gambar 4.7. Hasil SEM *Base Metal* Setelah Perlakuan Panas 24 jam (a) 1000 °C; (b) 1100 °C dan 1200 °C

#### 4.4. Mikrostruktur *Interface*

Pada Gambar 4.8 (a) terlihat *interface* yang cukup jelas setelah perlakuan panas pada suhu 1000°C dengan lebar *interface* 64.86  $\mu\text{m}$ . Struktur yang terjadi adalah *bainite* pada perbatasan dengan substrat begitu juga dengan hasil perlakuan panas pada suhu 1100 °C dan 1200 °C.

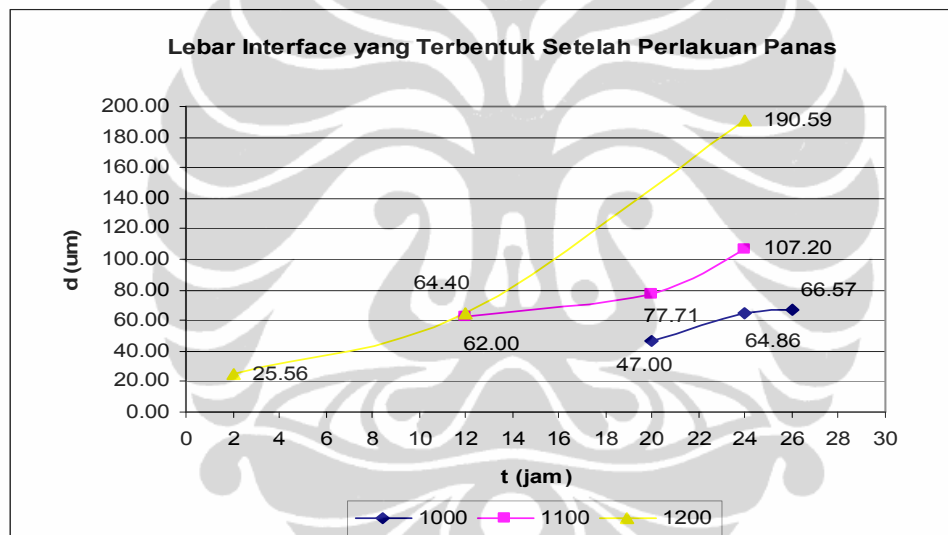


Gambar 4.8. Hasil SEM *Interface* Setelah Perlakuan Panas 24 jam (a) 1000 °C; (b) 1100 °C dan (c) 1200 °C

*Interface* yang terbentuk di antara *coating* dan substrat bertambah lebar seiring dengan kenaikan temperatur. Pada Tabel 4.2 disajikan pertambahan lebar *interface* sesuai dengan suhu perlakuan panas dan durasi waktunya.

Tabel 4.2. Lebar *Interface* yang terbentuk setelah Perlakuan Panas ( $\mu\text{m}$ )

T(°C)	T (jam)				
	2	12	20	24	26
1000			47.00	64.86	66.57
1100		62.00	77.71	107.20	
1200	25.56	64.40		190.59	



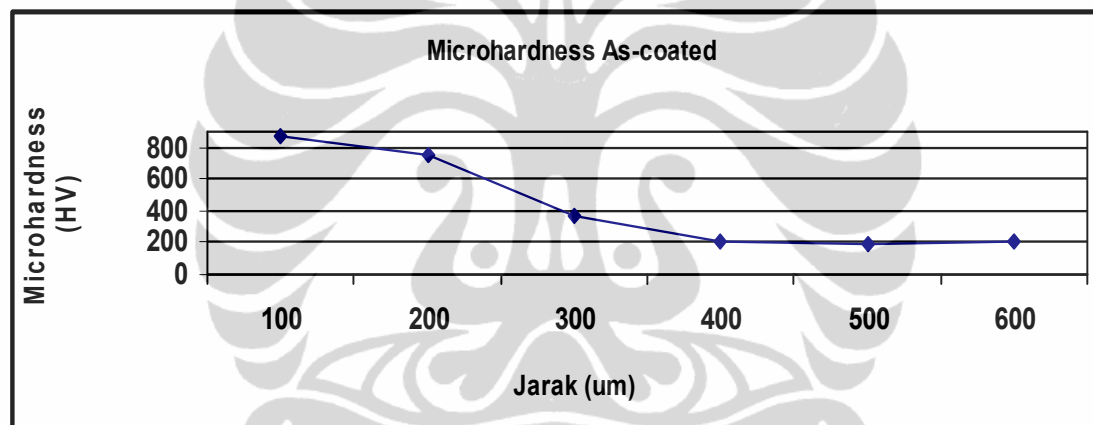
Gambar 4.9. Grafik Lebar *Interface* yang terbentuk setelah Perlakuan Panas ( $\mu\text{m}$ )

Pada suhu 1000°C, setelah perlakuan panas selama 20; 24 dan 26 jam pertambahan lebar *interface* tidak terlalu signifikan yaitu dari 47.0; 64.86; 66.57  $\mu\text{m}$  jika dibandingkan dengan kondisi setelah perlakuan panas pada suhu 1100 °C dan pertambahan *interface* yang paling signifikan setelah perlakuan panas pada suhu 1200 °C. Hal ini disebabkan karena pada suhu 1000 °C masih terjadi *grain growth* dan belum terjadi segregasi *coating* dengan substrat sehingga energi yang dimiliki sebagian besar digunakan untuk *grain growth* dan sisanya untuk pembentukan *interface* sehingga *interface* yang terbentuk belum terlalu lebar.

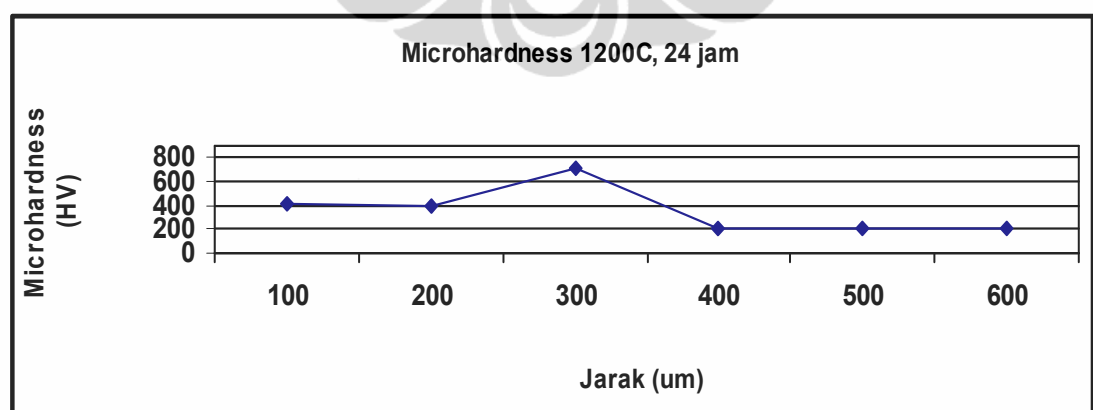
#### 4.5 Pengujian *Microhardness*

Tabel 4.3. Hasil Pengujian *Microhardness* (HV)

Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Jarak (μm)					
		100	200	300	400	500	600
As-coated		878	757	371	201	195	207
1000°C	20 jam	479	580	580	189	195	189
	24 jam	402	501	526	234	226	241
	26 jam	402	402	552	213	189	201
1100°C	12 jam	580	580	501	343	258	241
	20 jam	479	458	565	207	195	201
	24 jam	458	420	580	195	195	189
1200°C	2 jam	580	594	626	280	336	258
	12 jam	526	580	642	258	189	207
	24 jam	420	402	715	207	207	201



(a)

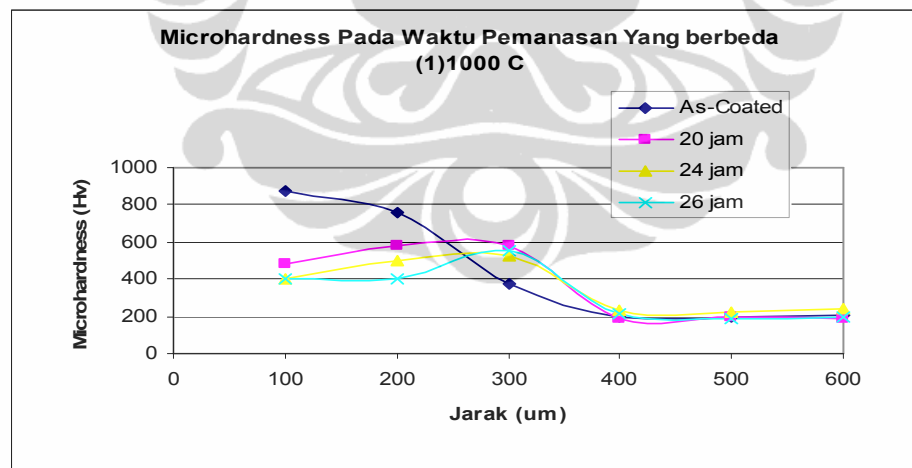


(b)

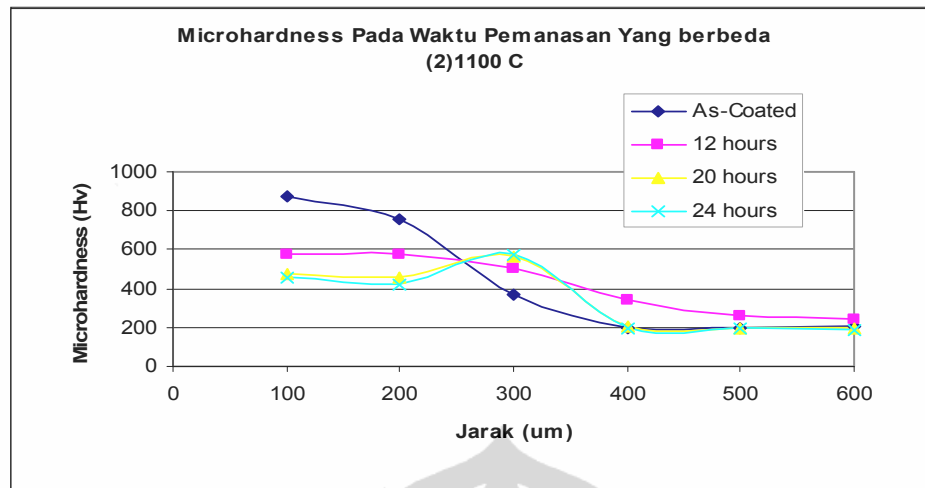
Gambar 4.10. Hasil *Microhardness* (a) sampel *as-coated* dan (b) sampel setelah perlakuan panas 1200 °C selama 24 jam

Adanya ekspansi Fe dari substrat ke *coating* menyebabkan terjadinya perubahan mikrostruktur dan sifat mekanisnya pada bagian yang terjadi difusi (*interface*). Gambar 4.10. (a) memperlihatkan distribusi *microhardness* pada sampel *as-coated*. Pada daerah *coating* hasil pengukuran berkisar antara 750-800 Hv. Pada daerah *interface*, kekerasan sedikit lebih besar dibandingkan dengan daerah substrat disebabkan oleh *hardening* saat *sandblasting base metal* sebelum proses pelapisan HVOF yang bertujuan agar partikel pelapis dapat menempel kuat pada substrat.

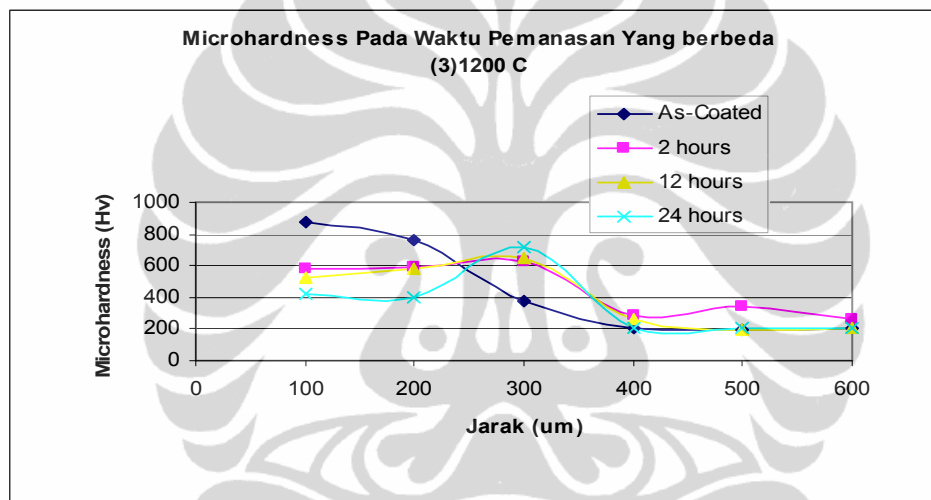
Gambar 4.10 (b) memperlihatkan hasil *microhardness* untuk sampel setelah pemanasan 1200°C 24 jam. Pada daerah *coating*, nilai *hardness* turun hingga 400 Hv setelah dipanaskan yang disebabkan oleh suhu pemanasan berada di atas suhu kerja efektif *coating* yaitu 850 °C sehingga performansi *coating* sudah menurun. Pada daerah *interface* terjadi peningkatan nilai *microhardness* yaitu 580 Hv. Sedangkan pada substrat nilai *microhardness* terdapat pada kisaran 200 Hv. Nilai *microhardness* yang meningkat pada daerah *interface* diperkirakan karena adanya difusi Fe dari substrat ke *coating* selama perlakuan panas.



(a)



(b)



(c)

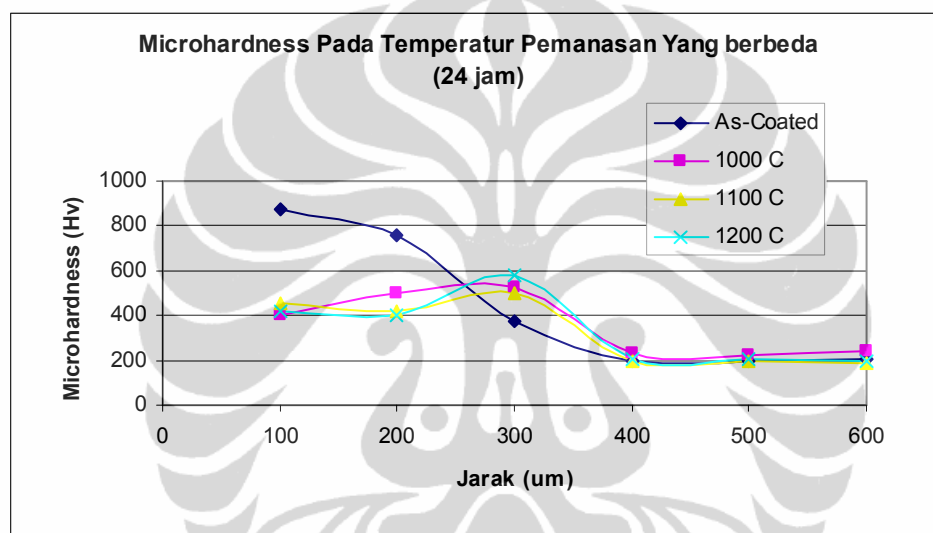
Gambar 4.11. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap kekerasan (a) suhu 1000 °C, (b) suhu 1100 °C, (c) suhu 1200 °C

Setelah perlakuan panas nilai *microhardness* pada daerah *coating* mengalami penurunan jika dibandingkan dengan sampel *as-coated*. Pada suhu 1000 °C, untuk waktu 20 jam memperlihatkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan 24 dan 26 jam. Pada suhu 1100 °C dan 1200 °C nilai *microhardness* mengalami penurunan berbanding terbalik dengan bertambahnya waktu perlakuan panas.

*Microhardness* di daerah *interface* secara umum mengalami kenaikan berbanding lurus dengan bertambahnya waktu pemanasan. Untuk suhu 1000 °C pada waktu 22 dan 24 jam menunjukkan sedikit kenaikan sedangkan pada 26 jam

memperlihatkan kenaikan yang cukup signifikan. Untuk suhu 1100 °C pada waktu 12 jam tidak memperlihatkan kenaikan, sedangkan pada 20 dan 24 jam terdapat kenaikan signifikan. Untuk suhu 1200 °C pada waktu 2 dan 12 jam nilai *microhardness* hampir sama dan waktu 24 jam menaik secara tajam.

*Microhardness* pada daerah substrat secara umum tidak mengalami perubahan yang berarti dibandingkan dengan sampel *as-coated*. Nilainya cukup konstan berkisar antara 200 Hv, hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas tidak berpengaruh terhadap kekerasan substrat.



Gambar 4.12. Pengaruh temperatur terhadap *microhardness* di daerah *coating* dan substrat setelah perlakuan panas selama 24 jam

Pada daerah *coating*, setelah perlakuan panas *microhardness* mengalami penurunan dibandingkan dengan sampel *as-coated*. Sedangkan *microhardness* pada daerah substrat menunjukkan nilai yang relatif konstan yaitu pada kisaran 200-250 Hv. Beberapa sampel menunjukkan setelah perlakuan panas terbentuk lapisan *interface* yang cukup kuat, terindikasi dari tingginya *microhardness* pada daerah *interface* (jarak 300  $\mu\text{m}$ ). Pada suhu 1000 dan 1100 °C menunjukkan sedikit kenaikan nilai *microhardness* sedangkan pada suhu 1200 °C menunjukkan kenaikan yang cukup signifikan. Sesuai dengan hasil *mapping* hal ini disebabkan oleh ekspansi Fe dari substrat ke *coating* di daerah *interface* berbanding lurus dengan naiknya temperatur perlakuan panas.

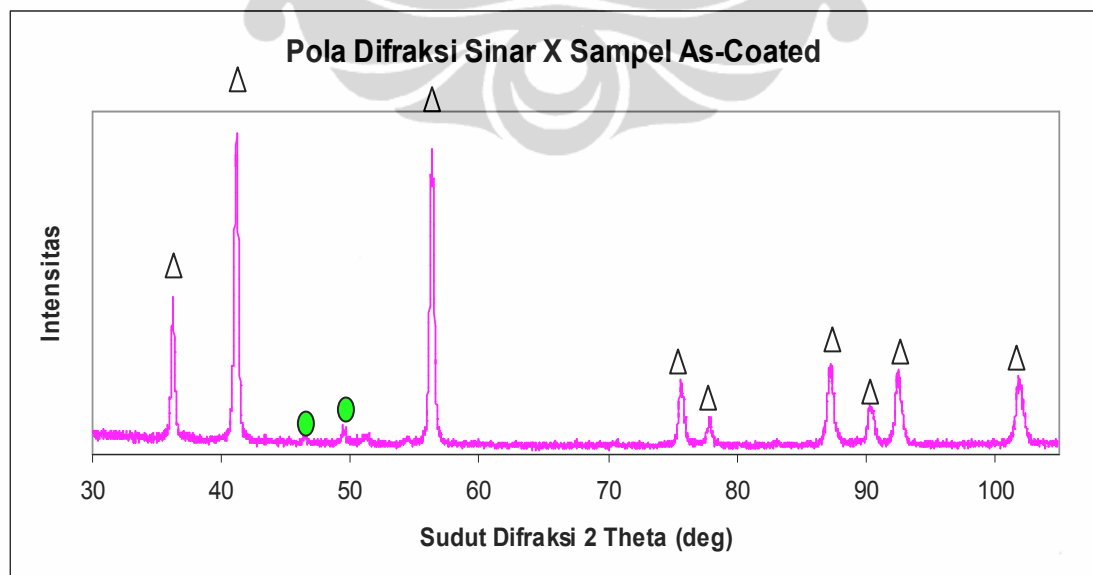


#### 4.6. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Komposisi Material

Perlakuan panas dapat menyebabkan pembentukan senyawa baru maupun perubahan komposisi material. Setelah perlakuan panas pada suhu 1000, 1100 dan 1200 °C fasa yang terbentuk seperti pada Tabel 4.4.

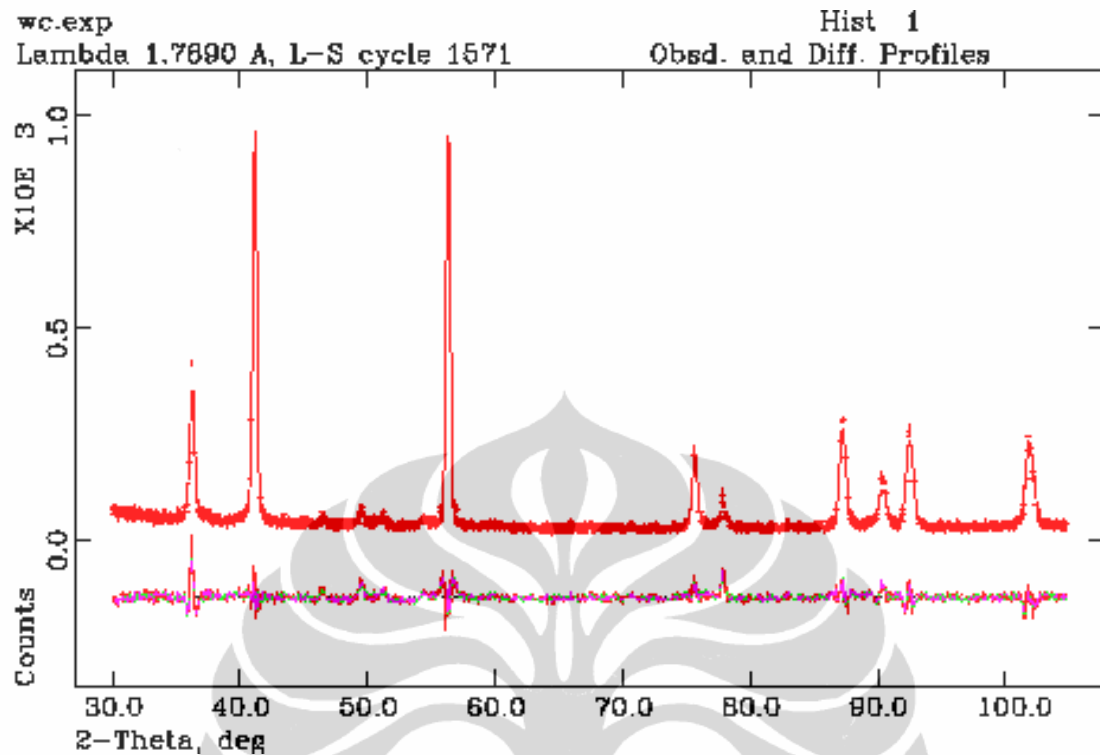
Tabel 4.4. Komposisi Senyawa Setelah Perlakuan Panas

Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Senyawa Yang Terbentuk (wt%)			
		WC	Co <sub>3</sub> W <sub>3</sub> C	Fe <sub>3</sub> W <sub>3</sub> C	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
As-coated		85.1	14.9		
1000°C	20 jam	76.2	23.8		
	24 jam	68.0	32.0		
	26 jam	67.8	32.2		
1100°C	12 jam	53.8	31.1		15.1
	20 jam	51.7	48.3		
	24 jam	50.4	28.9	20.7	
1200°C	2 jam	57.9	42.1		
	12 jam	39.4	60.6		
	24 jam	42.0	58.8		



(a)

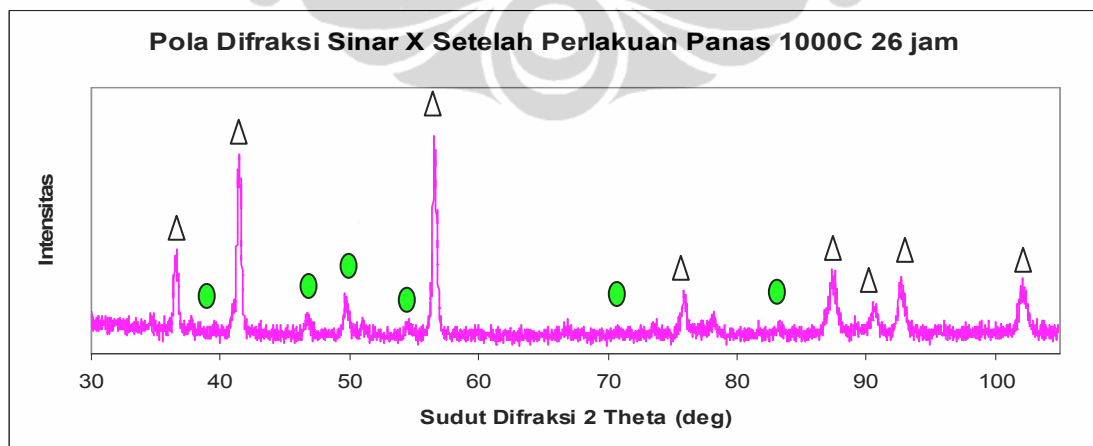
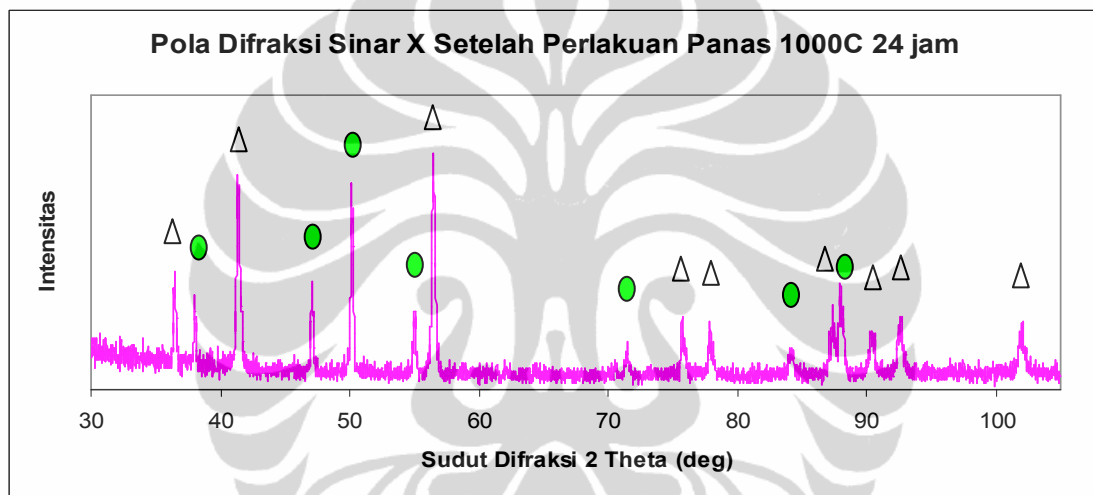
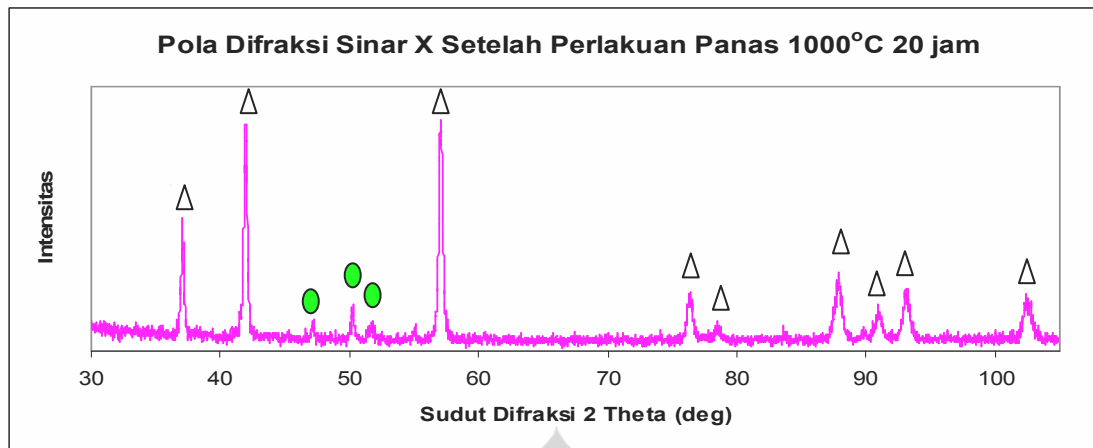
Δ WC ● Co<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C



(b)

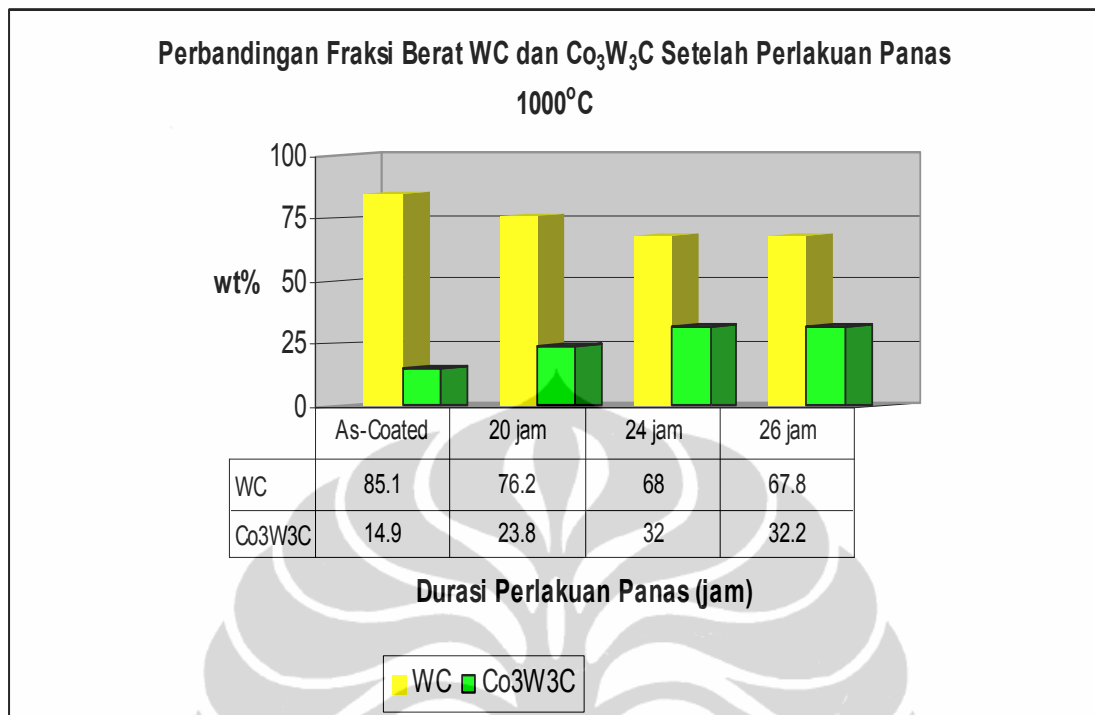
Gambar 4.13. Pola Difraksi Sinar X (a) sampel *as-coated*; (b) Hasil Pengolahan GSAS sampel *as-coated*

Pada Gambar 4.13 terlihat pola difraksi sinar X untuk sampel *as-coated* terdapat tiga puncak tertinggi teridentifikasi sebagai WC dan tidak terdapat senyawa oksida selama proses *spray* dengan HVOF. Hasil Pengolahan GSAS untuk sampel *as-coated* diperoleh fasa WC sebesar 85.1% dan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  sebesar 14.9%. Jika dibandingkan dengan hasil pengolahan GSAS untuk sampel *coating powder* yaitu WC sebesar 84, 2 % dan  $\sigma$ -CrCo 15,8 %. Maka dapat disimpulkan bahwa pada proses *spaying* HVOF terjadi perpaduan WC dengan Co membentuk  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ .



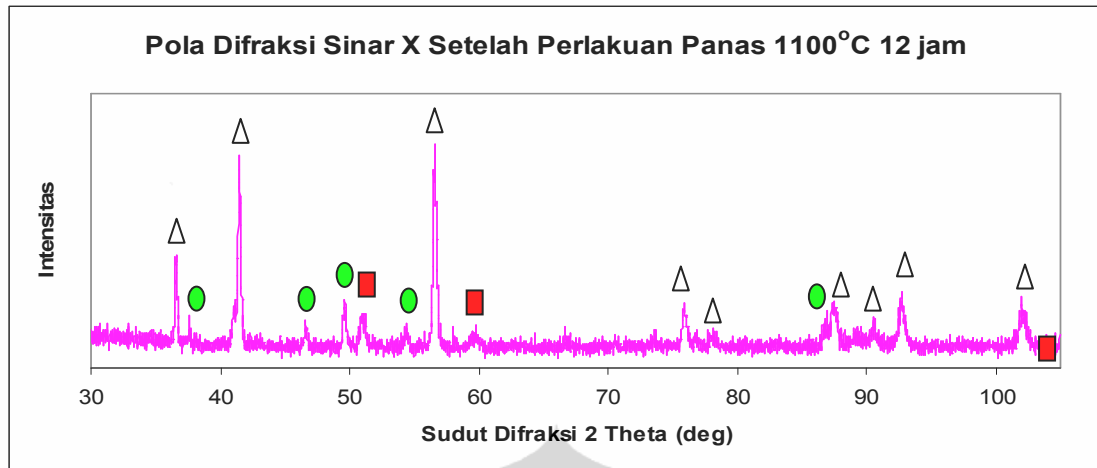
△ WC   ● Co<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C

Gambar 4.14. Pola Difraksi Sinar X Setelah Perlakuan Panas 1000°C (a) 20 jam; (b) 24 jam dan (c) 26 jam

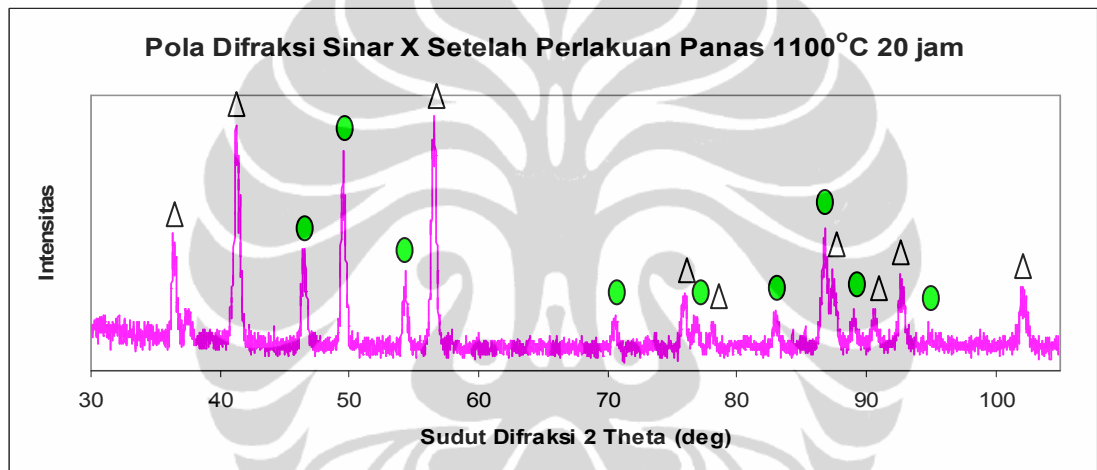


Gambar 4.15. Grafik Perbandingan Fraksi Berat WC dan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  Setelah Perlakuan Panas  $1000^\circ\text{C}$

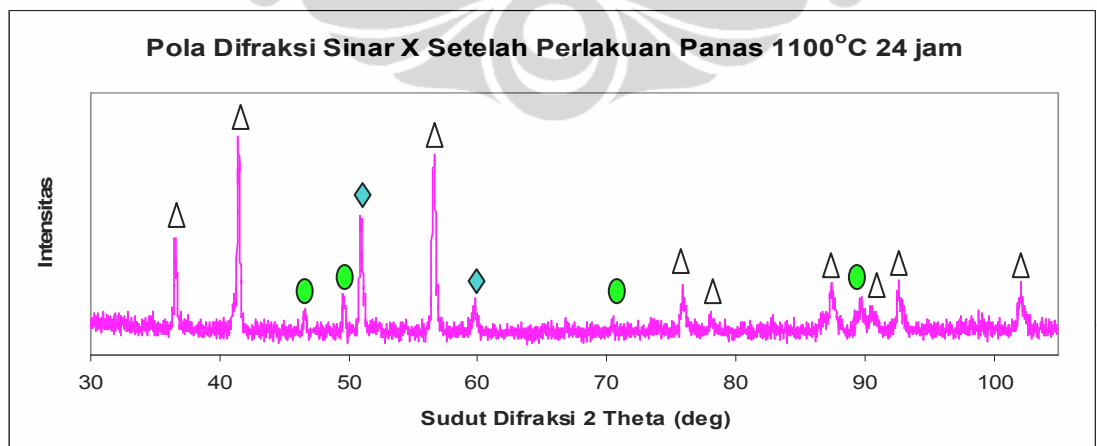
Setelah perlakuan panas  $1000^\circ\text{C}$  tidak terbentuk senyawa baru, senyawa yang teridentifikasi tetap sama seperti sampel *as-coated* namun dalam konsentrasi (wt%) yang berbeda. Saat perlakuan panas WC bergabung dengan Co membentuk  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  maka seiring dengan bertambahnya waktu WC makin berkurang dan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  semakin bertambah. Pada durasi perlakuan panas 20 jam teridentifikasi WC sebesar 76.2% dan fasa  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  23.8% dan pada durasi 24 jam terjadi hubungan yang linear sesuai dengan penambahan waktu namun pada durasi 26 jam tidak terlalu signifikan, hal ini dikarenakan interval perbedaan waktu yang terlalu pendek sehingga perbedaan komposisi fasa yang terbentuk kecil sekali.



(a)



(b)

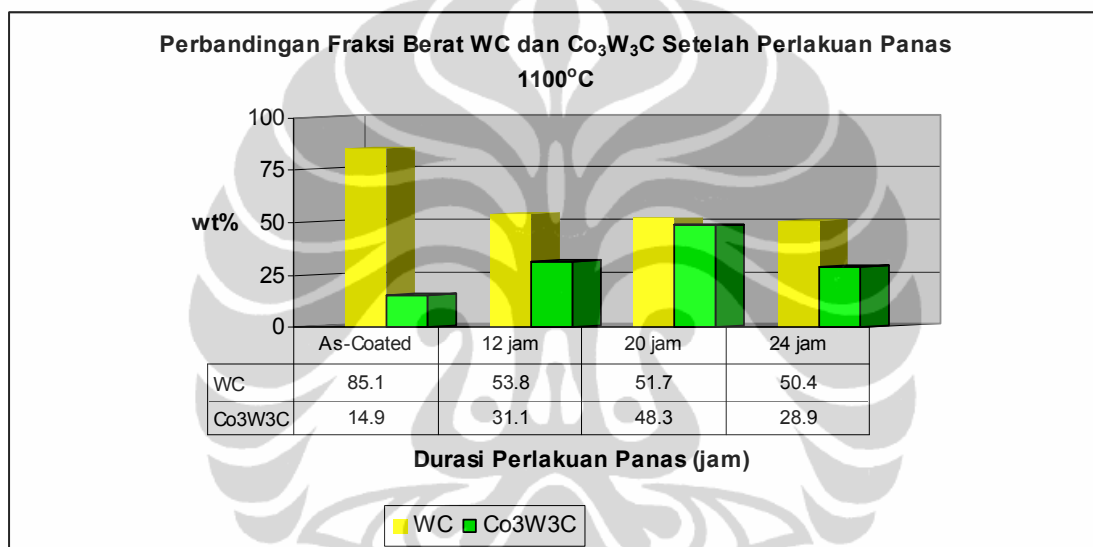


(c)

△ WC   ● Co<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C   ■ Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>   ◆ Fe<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C

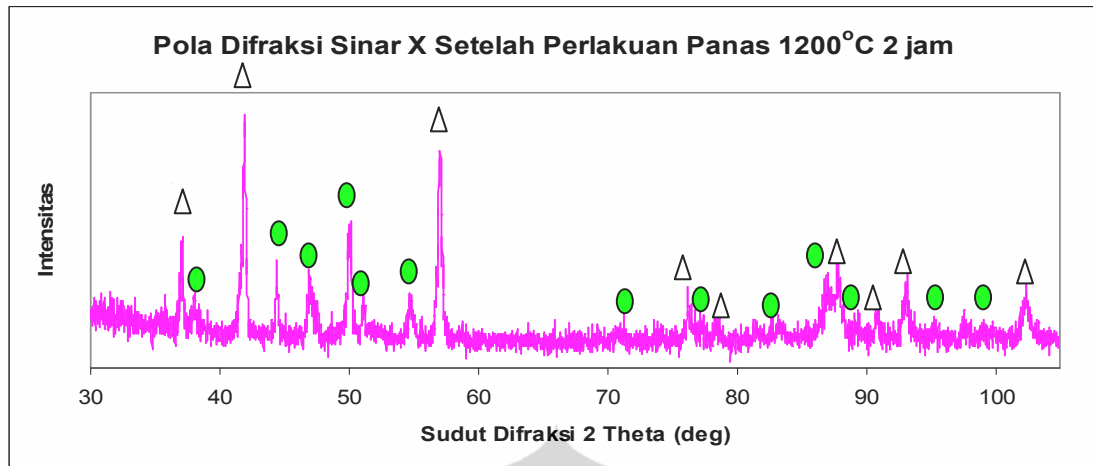
Gambar 4.16. Pola Difraksi Sinar X Setelah Perlakuan Panas 1100°C (a) 12 jam; (b) 20 jam dan (c) 24 jam

Setelah perlakuan panas  $1100^{\circ}\text{C}$  terdapat beberapa senyawa baru jika dibandingkan dengan sampel *as-coated* yaitu  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  dan  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ .  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$  terbentuk pada durasi perlakuan panas 24 jam hal ini diperkirakan berasal dari WC bergabung dengan Fe dari *coating powder*. Sedangkan  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  teridentifikasi pada durasi perlakuan panas 12 jam, berasal dari Cr dan C pada *coating powder* bergabung karena pengaruh perlakuan panas. Faktor homogenitas *coating powder* yang kurang baik mengakibatkan fasa ini hanya muncul pada durasi waktu 12 dan 24 jam dan tidak muncul pada durasi waktu yang lain.

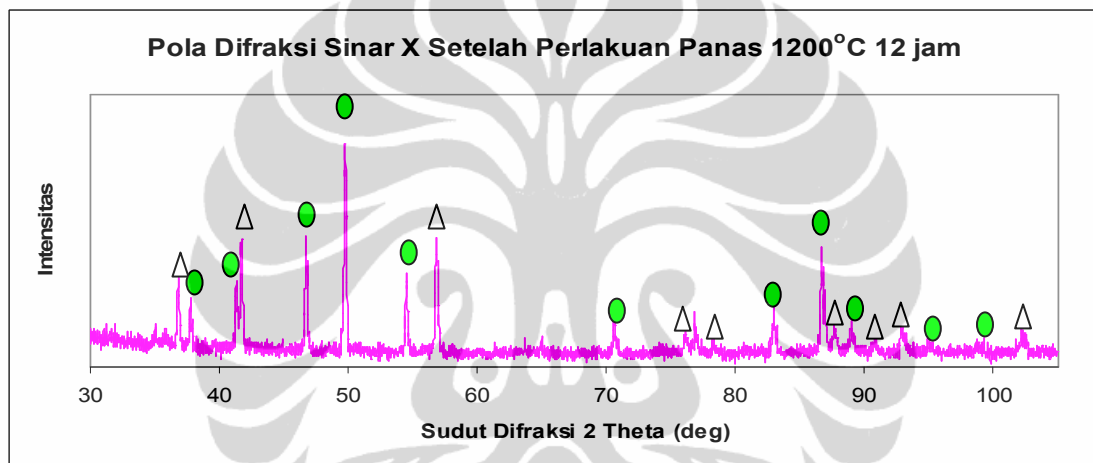


Gambar 4.17. Grafik Perbandingan Fraksi Berat WC dan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  Setelah Perlakuan Panas  $1100^{\circ}\text{C}$

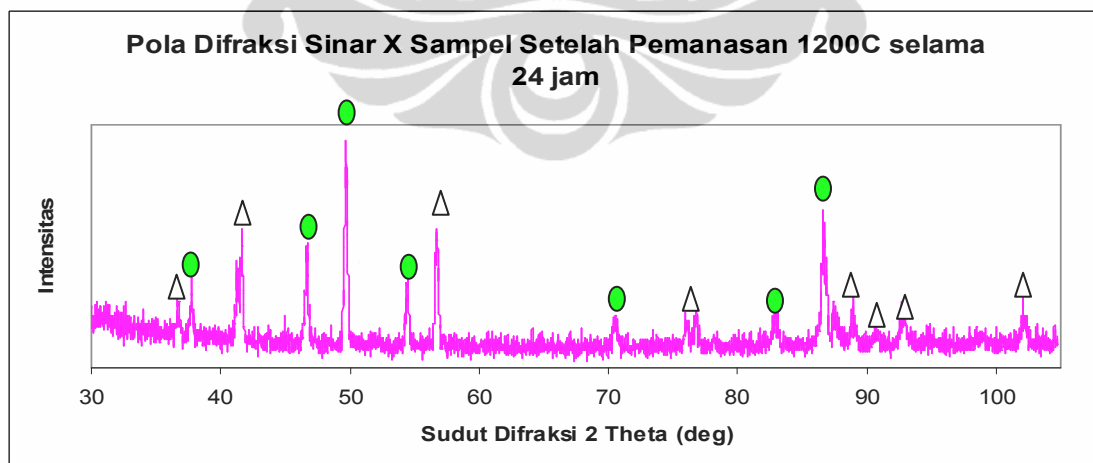
Pada durasi perlakuan panas 12, 20 dan 24 jam komposisi WC berada kisaran 50-55%, sedangkan pada 12 dan 24 jam  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  yang terbentuk tidak optimal, karena adanya senyawa lain yang terbentuk.



(a)



(b)

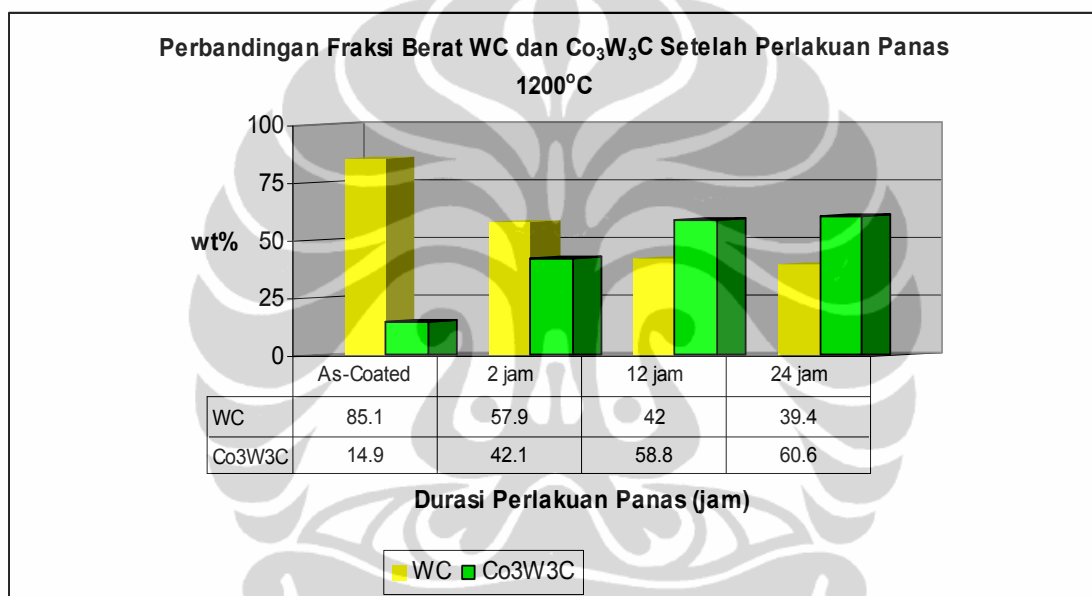


(c)

Δ WC ●  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$

Gambar 4.18. Pola Difraksi Sinar X Setelah Perlakuan Panas 1200°C (a) 2 jam; (b) 12 jam dan (c) 24 jam

Setelah perlakuan panas  $1200^{\circ}\text{C}$  pola difraksi sinar X menunjukkan senyawa utama  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  disamping fasa WC juga tetap ada namun dalam konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel *as-coated*. Ini menunjukkan bahwa elemen Co yang terdapat dalam *coating powder* selama proses pemanasan bersegregasi ke bagian atas *coating* dan berikatan dengan WC membentuk  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ . Namun pada pola difraksi ini tidak menunjukkan adanya senyawa Fe, hal ini menunjukkan bahwa Fe belum bermigrasi ke bagian atas *coating*.



Gambar 4.19. Grafik Perbandingan Fraksi Berat WC dan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  Setelah Perlakuan Panas  $1200^{\circ}\text{C}$

Pada durasi perlakuan panas 2 jam WC masih dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ , tetapi pada 12 dan 24 jam WC telah lebih banyak membentuk  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  dan jumlah persentase WC dan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  tidak berbeda secara signifikan karena jumlah Co yang pada *coating powder* telah ekuivalen membentuk  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  sehingga sudah tidak ada pembentukan  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  lagi, karena sistem sudah stabil.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Perlakuan panas pada baja JIS S45C yang dilapisi oleh *coating powder* WOKA 3652 menghasilkan *interface* melalui mekanisme difusi. Tebal *interface* meningkat hingga 191  $\mu\text{m}$  dan terbentuk fasa *bainite* pada temperatur perlakuan 1200°C selama 24 jam.

#### 5.2. Saran

Untuk perbaikan penelitian selanjutnya, saran yang perlu dipertimbangkan antara lain :

1. Dilakukannya perlakuan setelah pemanasan yang bervariasi misalnya saja penemperan, *air quenching* dan lain-lain akan memperlihatkan karakteristik material ini dengan lebih menarik.
2. Perlu dilakukan pengujian *adhesive bonding* untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan *bonding coating* dengan substrat setelah dan sebelum perlakuan panas.
- 3.. Perlu dilakukan pemeriksaan *micro XRD* sehingga dapat diketahui fasa yang terbentuk pada tiap lapisan baik pada *coating* maupun *interface* secara lebih detail.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Sundararajan, S. Kuroda, F. Abe, *Effect of Thermal Spray on The Microstructure and Adhesive Strength of High Velocity Oxy Fuel Sprayed Ni-Cr Coatings on 9 Cr-1 Mo Steel*, Journal of Metalurgical and Materials, Vol 35A (2004) 3187-3199.
- [2] H. Chen, K. Zhou, Z. Jin, C. Liu, *Diffusion and Phase Transformation on Interface Between Substrate and NiCrAlY in Y-PSZ Thermal Barrier Coatings*, Journal of Thermal Spray Technology, Vol 13 (2004) 515-520.
- [3] T. Sundararajan, S. Kuroda, F. Abe, *Steam Oxidation of 80Ni-20Cr HVOF Coatings on 9Cr-1Mo Steel: Diffusion-Induced Phase Transformations in the Substrate Adjacent to the Coating*, Journal of Metalurgical and Materials, Vol 36A (2005) 2165-2174.
- [4] ASM Handbook Volume 1, *Irons, Steels, and High Performance Alloys*, ASM, Ohio (1990).
- [5] Metco, Sulzer, *WOKA™ Carbide Powder Materials for Thermal Spray*, Sulzer Metco, USA (2006).
- [6] A. Verstak, V. Bara novski, *HVOF sprayed Tungsten Carbide : Properties and Applications*, Virginia, USA (2007).
- [7] <http://www.sulzermetco.com/>
- [8] <http://www.twi.com/>
- [9] Stokes, J, Looney, L, *HVOF System Definition to Maximise The Thickness of Formed Components*, Journal of Thermal Spray Technology (2000).
- [10] Upadhyaya, G. S., *Cemented Tungsten Carbides - Production, Properties, and Testing*, William Andrew Publishing, Virginia (1998).
- [11] Lawrence H. Van Vlack, *Materials Science And Engineering*, 5<sup>th</sup> edition Addison-Wesley Publishing Company, Reading , Massachusetts (1985).
- [12] ASM Thermal Spray Society, *Handbook of Thermal Spray Technology*, ASM, USA (2004).
- [13] Pawlowski, L, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, John Wiley & Sons Ltd, London (1995).

- [14] K. Sakata, K. Nakano, H. Miyahara, Y. Matsubara, K. Ogi, *Microstructure Control of Thermally Sprayed Co-Based Self-Fluxing Alloy Coatings by Diffusion Treatment*, Journal of Thermal Spray Technology, Vol 16(5-6) (2007) 991-997.
- [15] B. Wilage, H. Pokhumurska, A. Wank, *Influence of Thermal Spraying Method on The Properties of Tungsten Carbide Coatings*, Institute of Composite Materials, Chemnitz University of Technology, Germany (2002).
- [16] C.J. Li, A. Ohmori, Y. Harada, *Formation of an Amorphous Phase in Thermally Sprayed WC-Co*, Journal of Thermal Spray Technology, Volume 5(1), Japan (1996) 69-73.
- [17] J. Nerz, B. Kusher, A. Rotolico, *Microstructural Evaluation of Tungsten Carbide-Cobalt Coatings*, Journal of Thermal Spray Technology, Volume 1(2), New York (1992) 147-155.
- [18] Babilius, Arturas, *Influence of Temperature on Tungsten Carbide Coating Sprayed by Different Spray Systems*, Kaunas University of Technology, Vol. 11 No.2, Lithuania (2005) 105-109.
- [19] Korpiola, Kari, *High Temperature Oxidation of Metal Alloy and Cermet Powders in HVOF Spraying Process*, Helsinki University of Technology, Finland (2004).



# Material Certification

## SULZER

Sulzer Metco (US) Inc.  
1101 Prospect Ave  
Westbury, New York 11591  
Phone: +1 516 334 1300  
Fax: +1 516 338 2342

Page 1 of 2

11/27/07

**PLTEKKNOKRAFTINDO ASIA  
GLANDAK COMMERCIAL ESTATE  
BLDG. 111-NGW, JAKARTA 12580  
INDONESIA**

<b>Product:</b>	<b>WOKA 3652</b>	<b>Powder</b>
<b>Batch No.</b>	<b>713-1-30-3</b>	

Customer PO: TAPO 9232      Control: 850055411      Quantity: 70 LBS.  
Date: 11/07

Chemical Analysis, Wgt. %	Method	Results,
C	Gravimetric	5.32
Co	ICP	9.58
Cr	ICP	3.94
Fe	ICP	0.06
W	Balance	81.10
Particle Size, Vol. %		
-20um		9.71
-15um		4.22
Sieve Analysis, Wgt. %		
163		0.00
69/153um		0.11
-53/+45um		4.09
-45/+20um		86.09

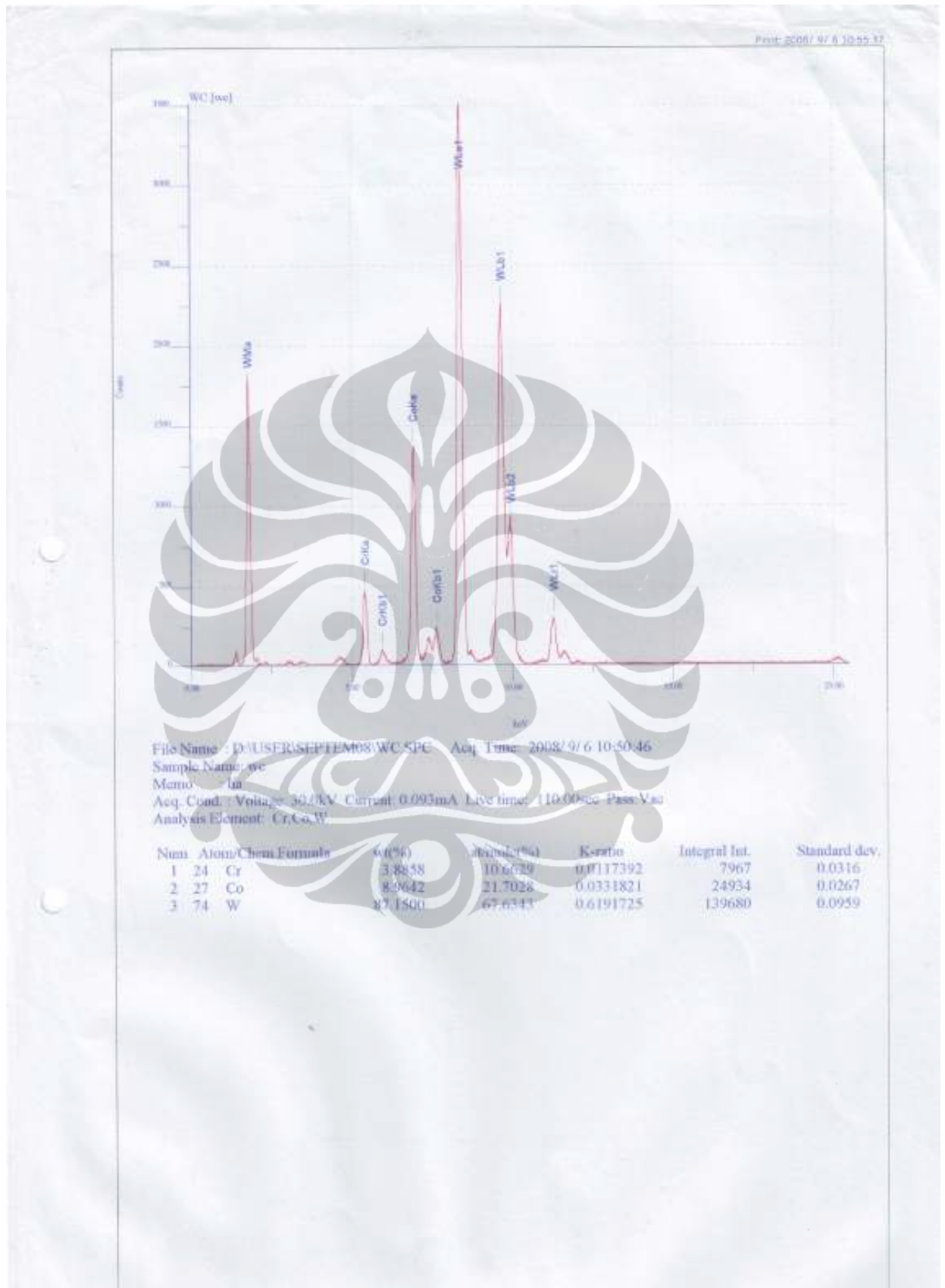
We warrant that the material described above has been inspected, tested and unless otherwise stated, conforms to all applicable requirements of the contract order and specifications referenced on this certificate. This certificate will not be reproduced except in full without the written approval of Sulzer Metco. The recording of false, false, fraudulent statement or entries on this certificate may be punished as felony under federal law. This material is being supplied in accordance with the Quality System of Sulzer Metco (US) Inc. which is an ISO 9001:2000 and AS9100 Certified Vendor and a Nadcap Accredited Materials Testing Laboratory. This material is supplied according to the quality requirements of General Estate S-1000, and Volvo SOAR 210. This inspection certificate meets the requirements of International Standards ISO 10074 sub class 3.1 B and ISO 17025.

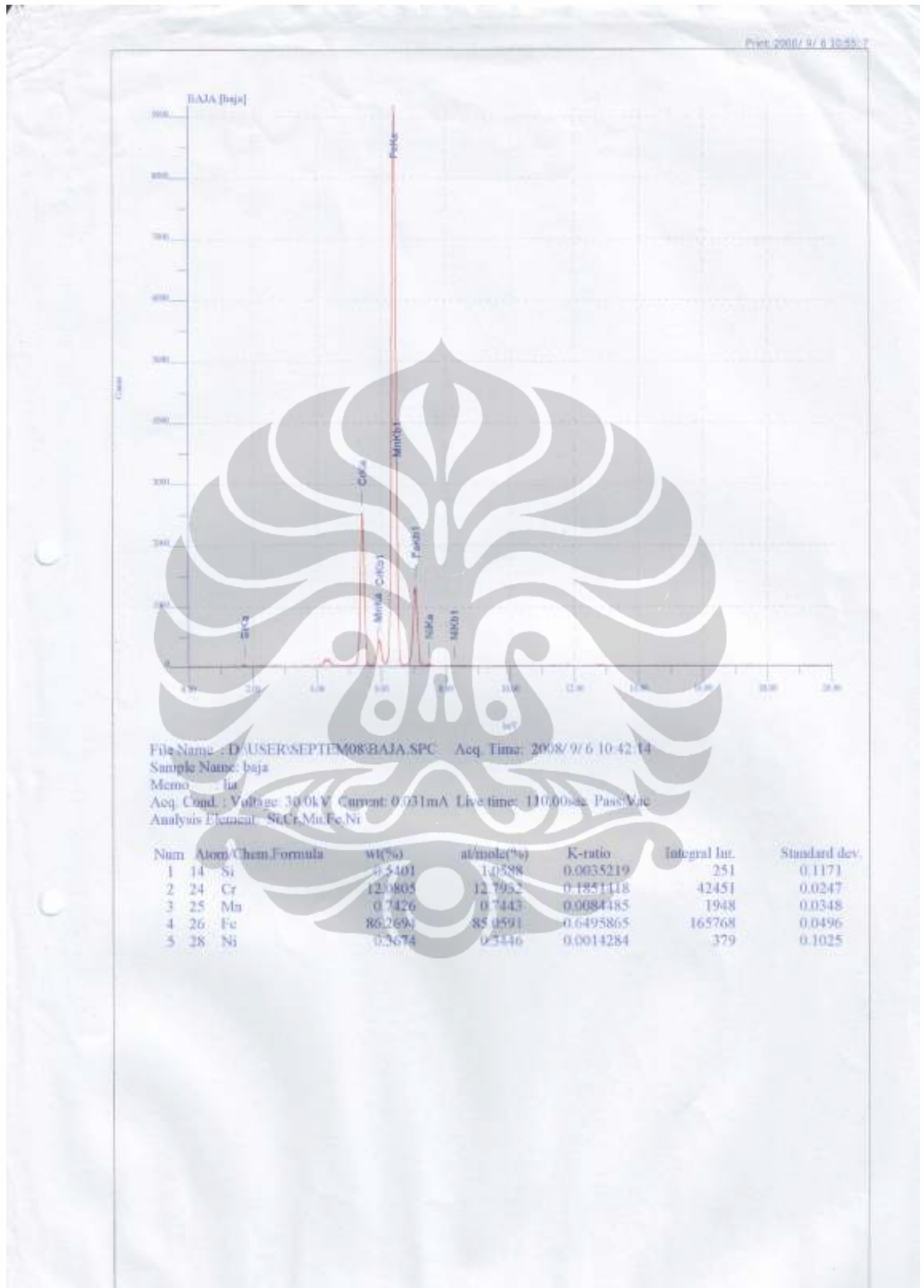
By \_\_\_\_\_

Quality Management Representative

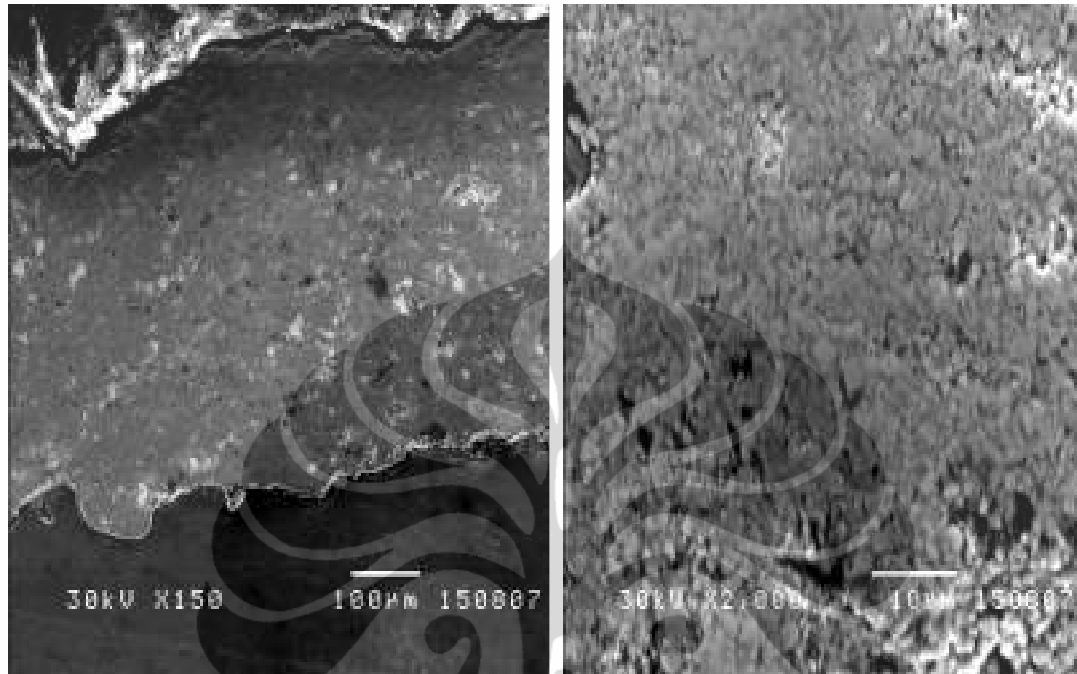
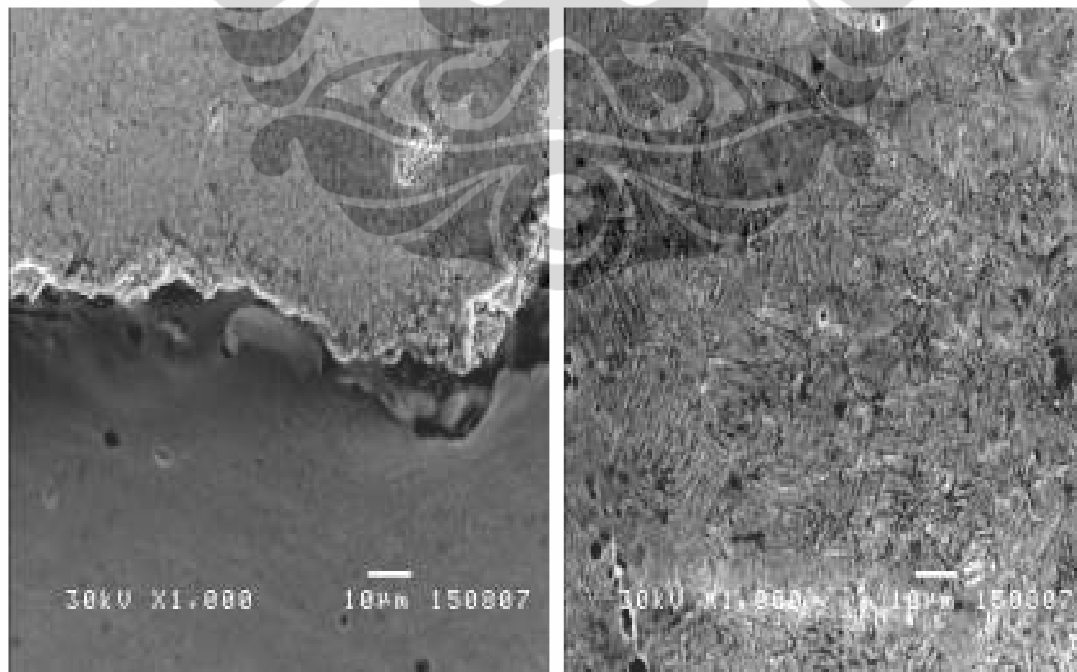


\*This product has been manufactured under a quality management system registered as complying with AS9100 which has been independently certified by B1 QI.



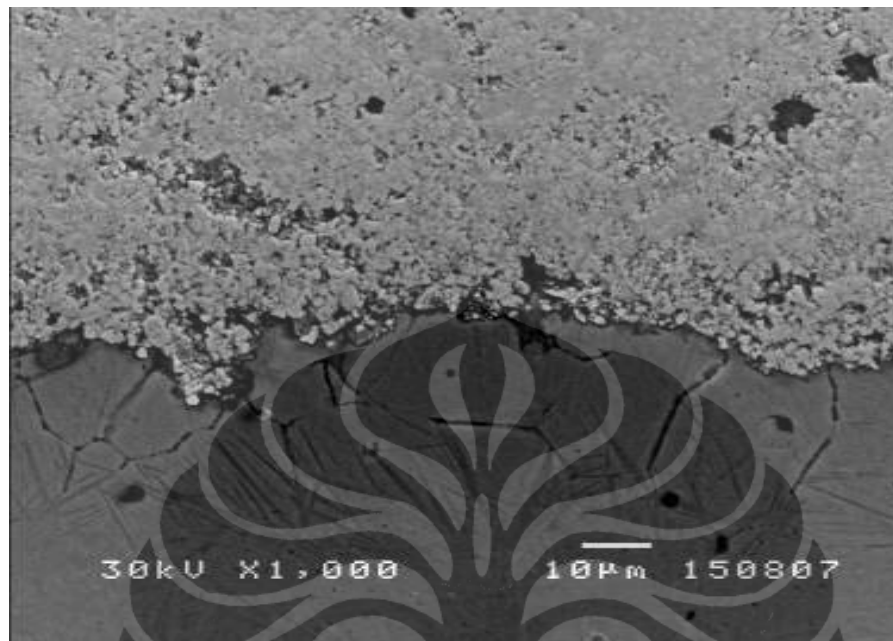
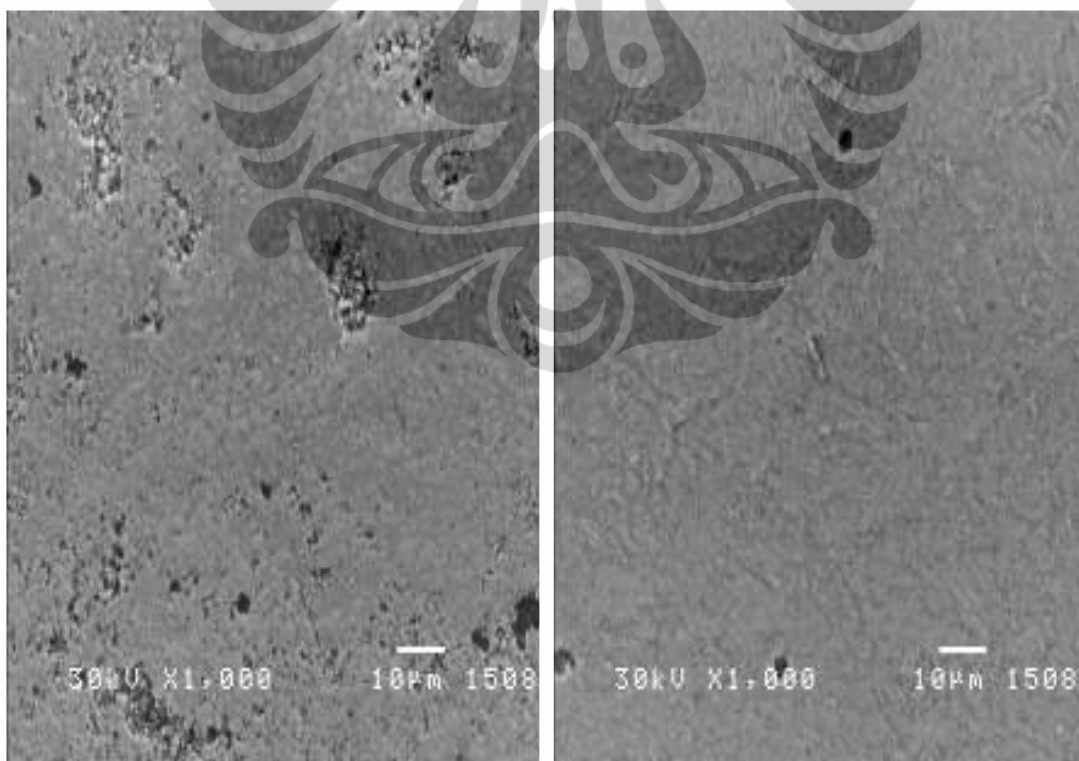


## HASIL SEM SAMPEL AS-COATED

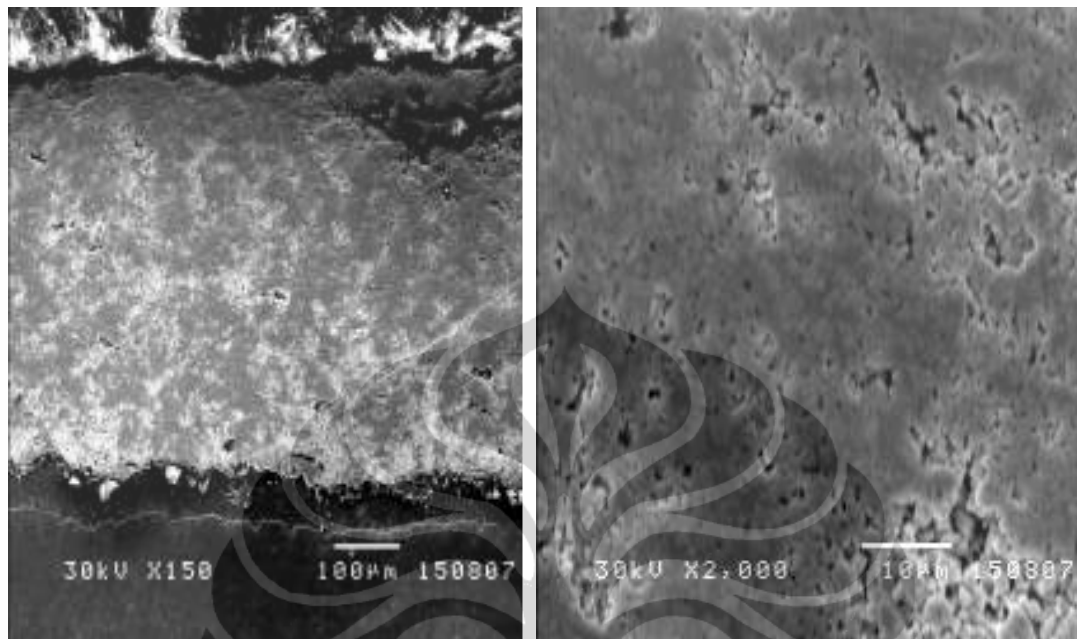
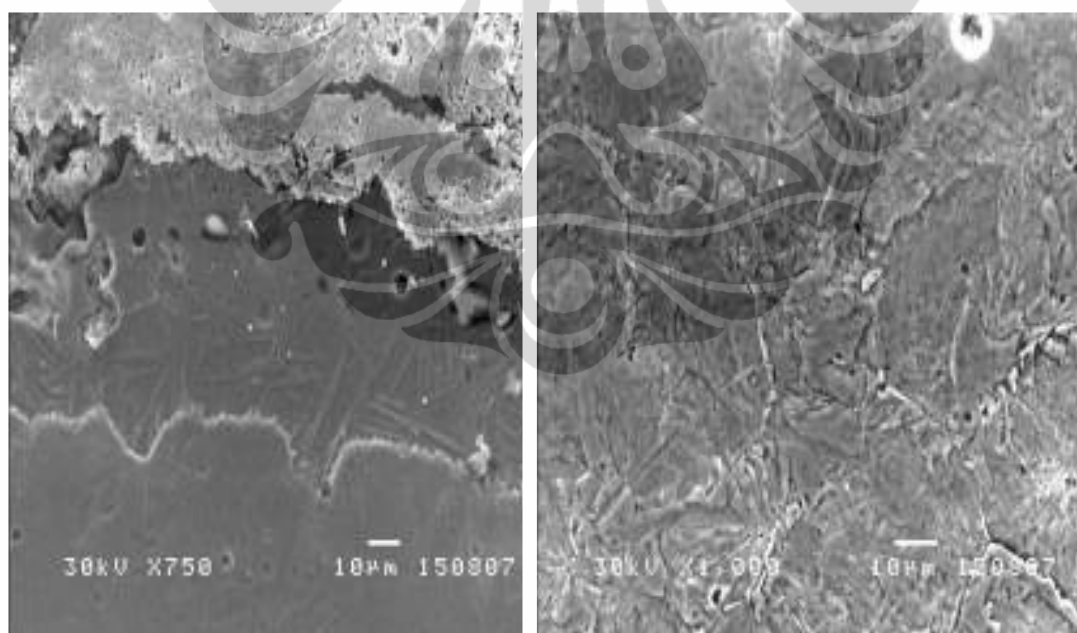
*View**Coating**Interface**Base Metal*



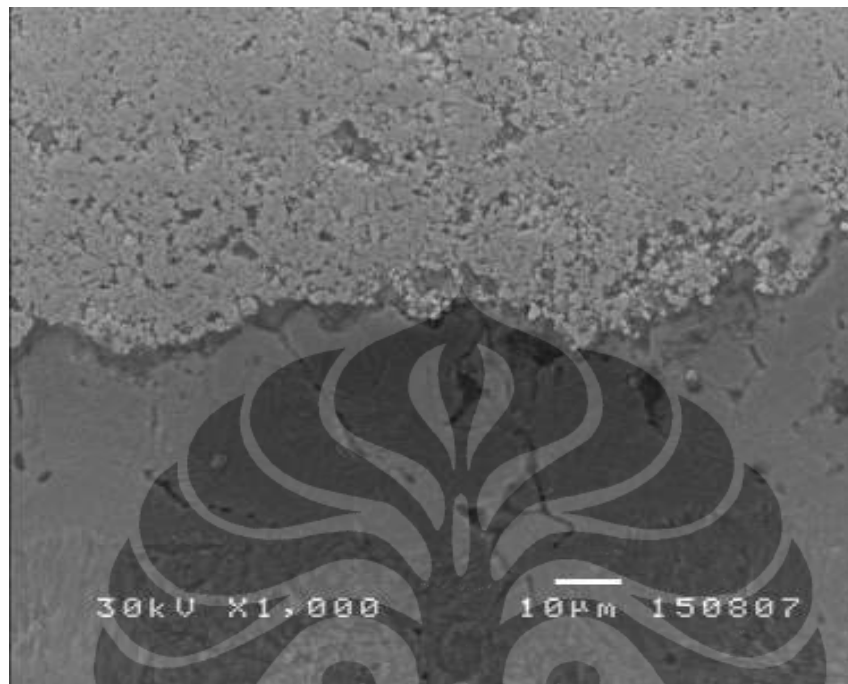
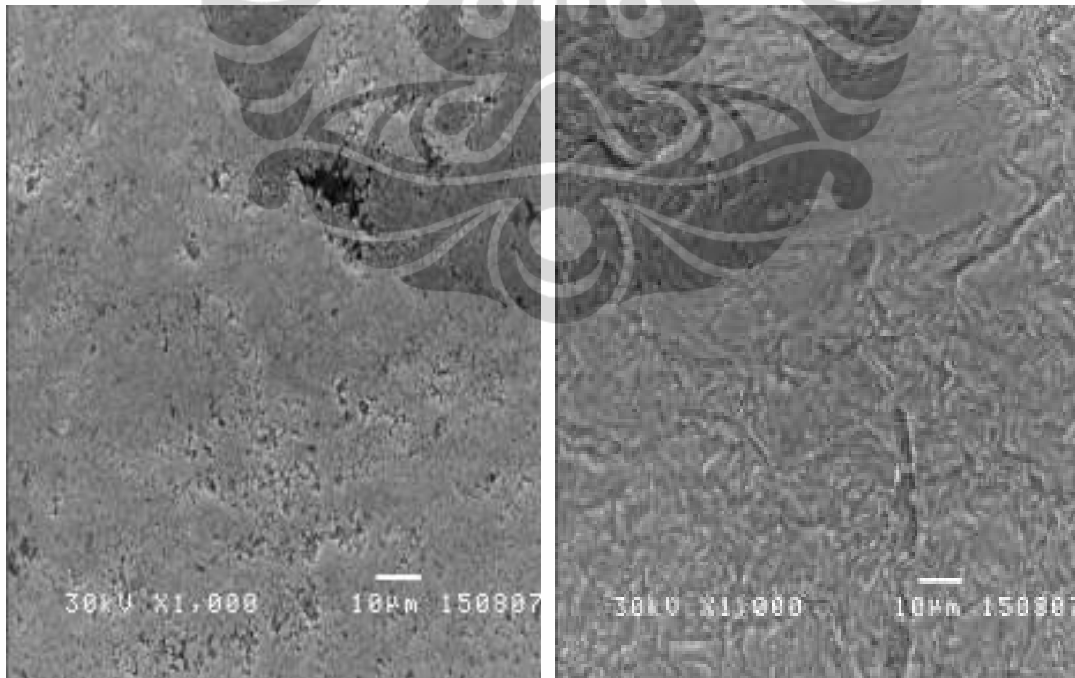
## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1000°C 20 JAM

*Interface**Coating**Base Metal*

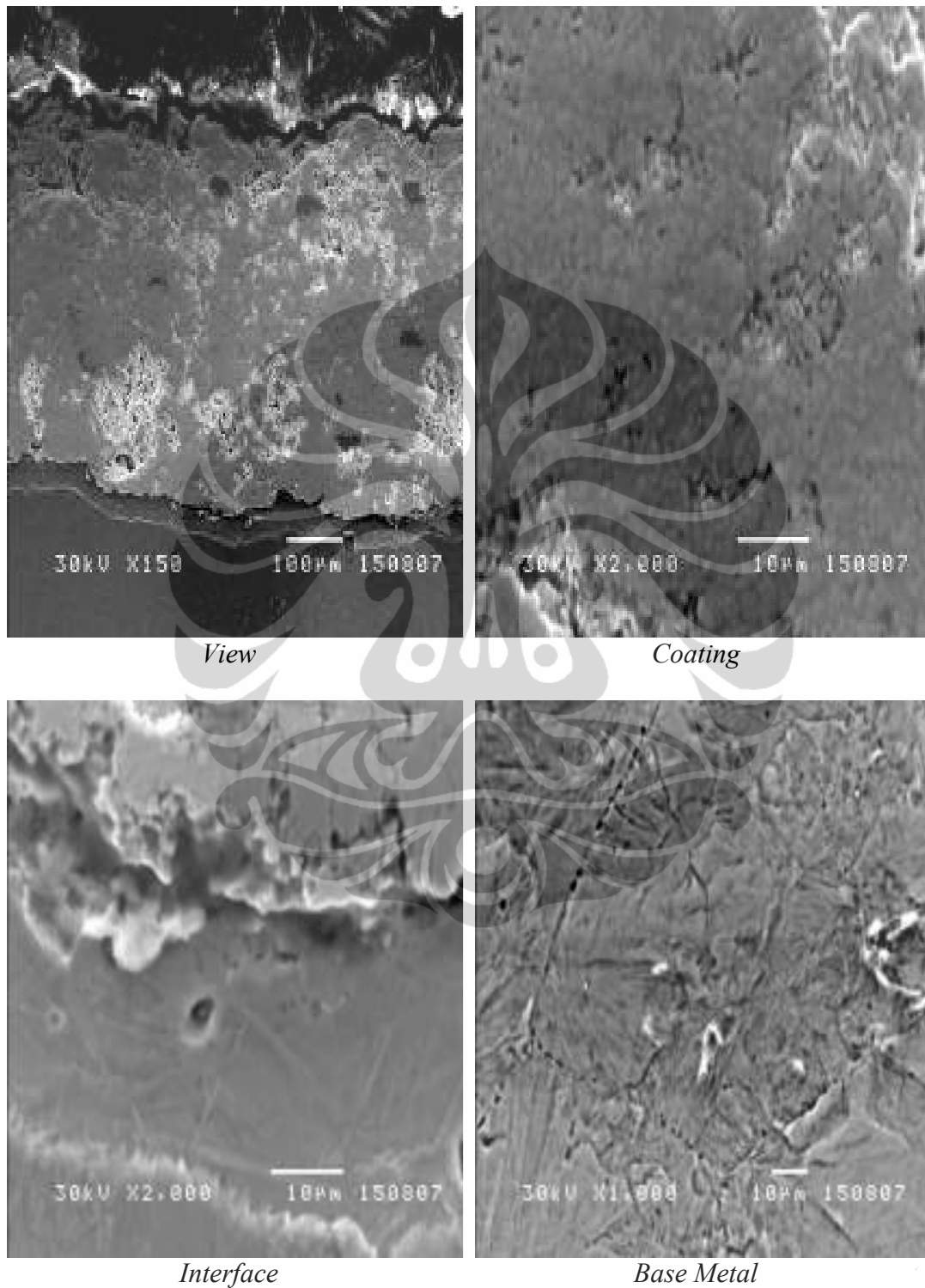
## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1000°C 24 JAM

*View**Coating**Interface**Base Metal*

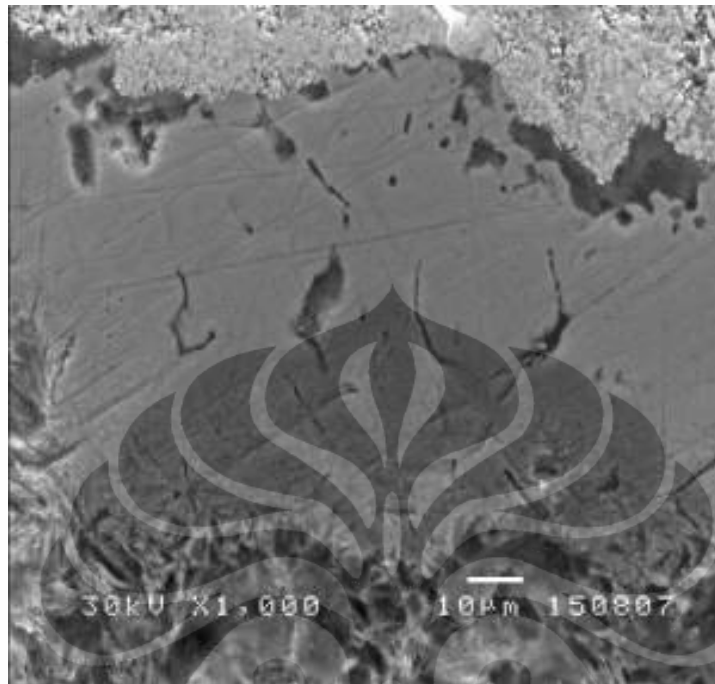
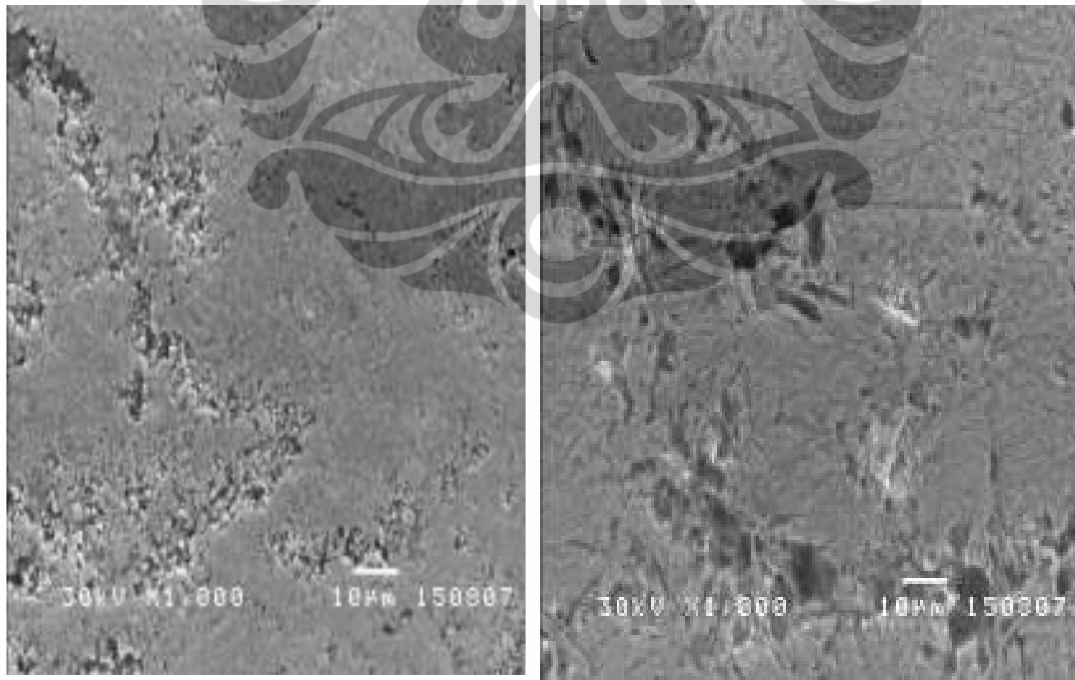
## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1000°C 26 JAM

*Interface**Coating**Base Metal*

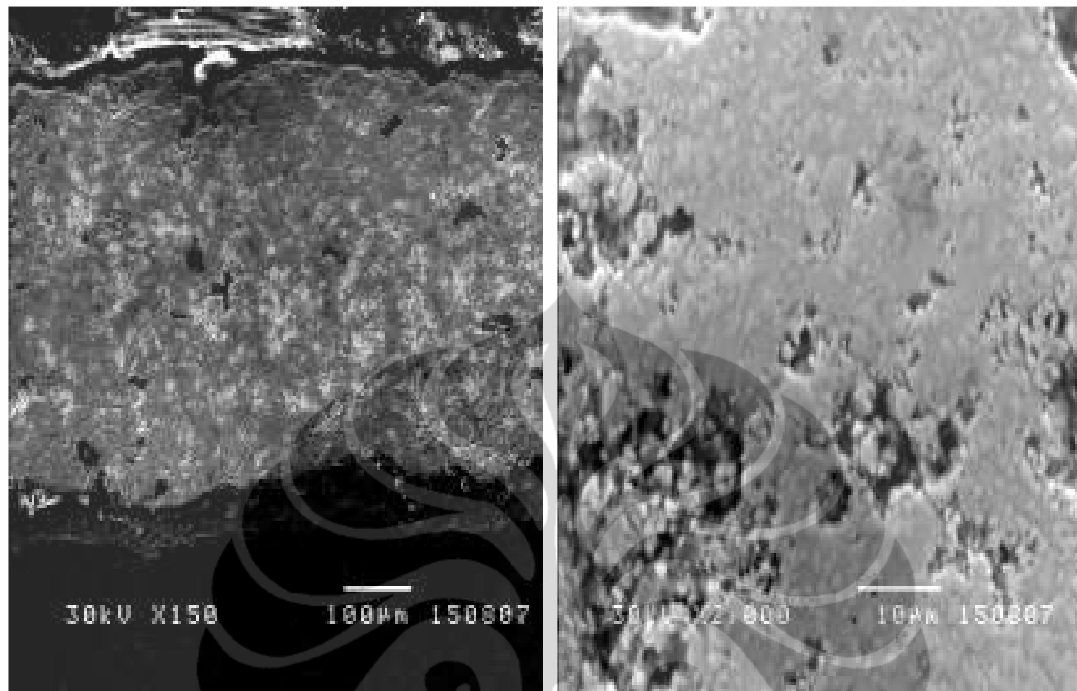
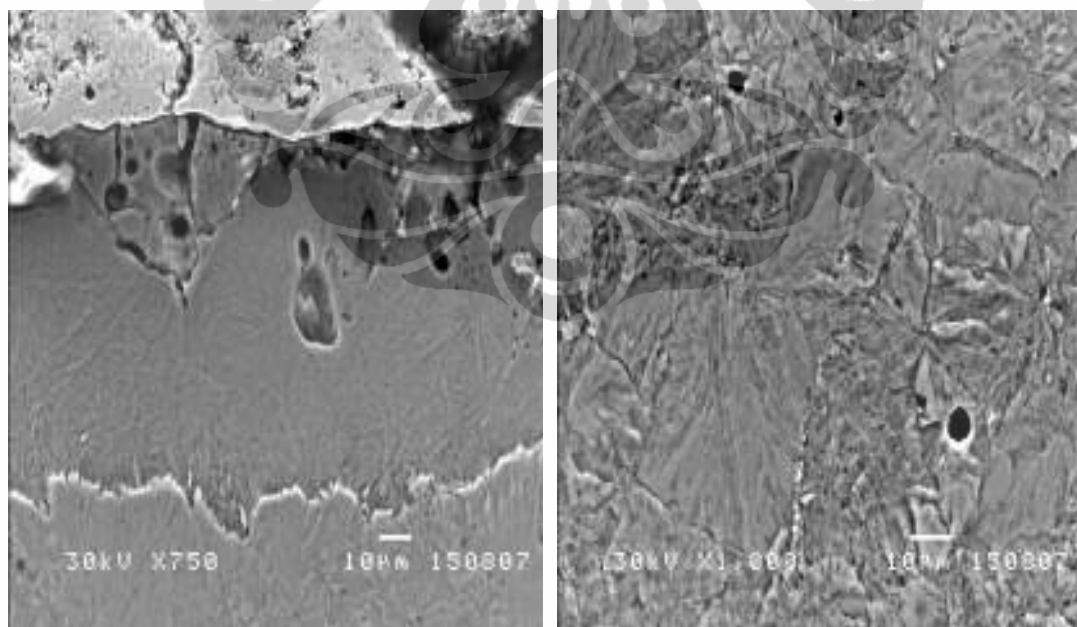
## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1100°C 12 JAM



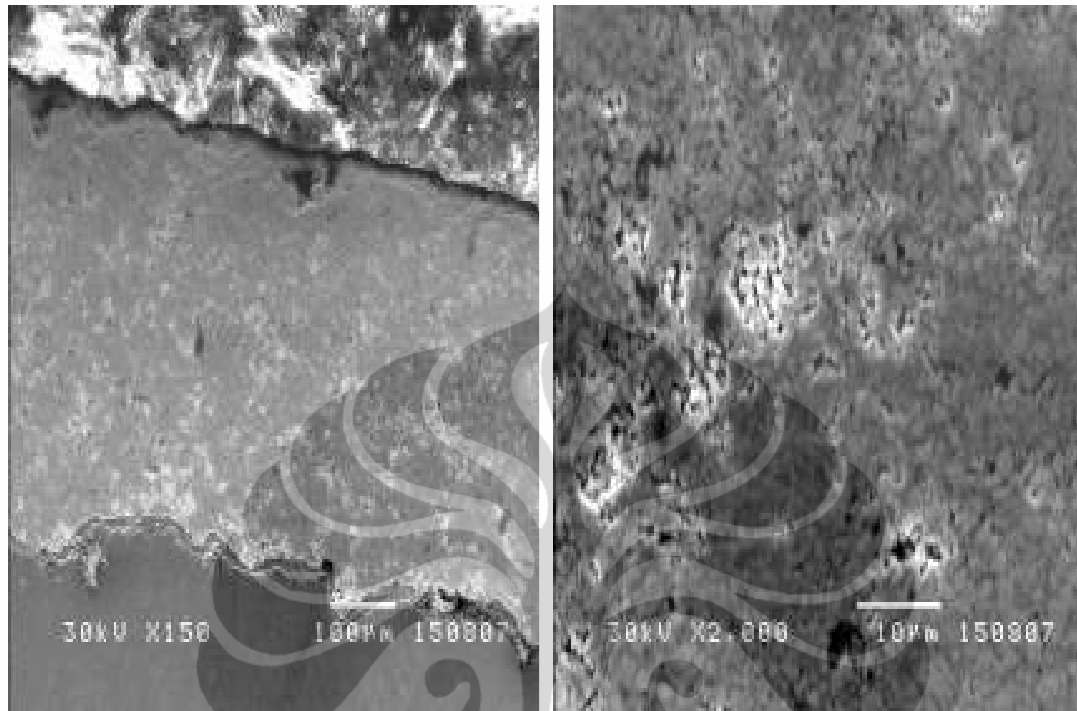
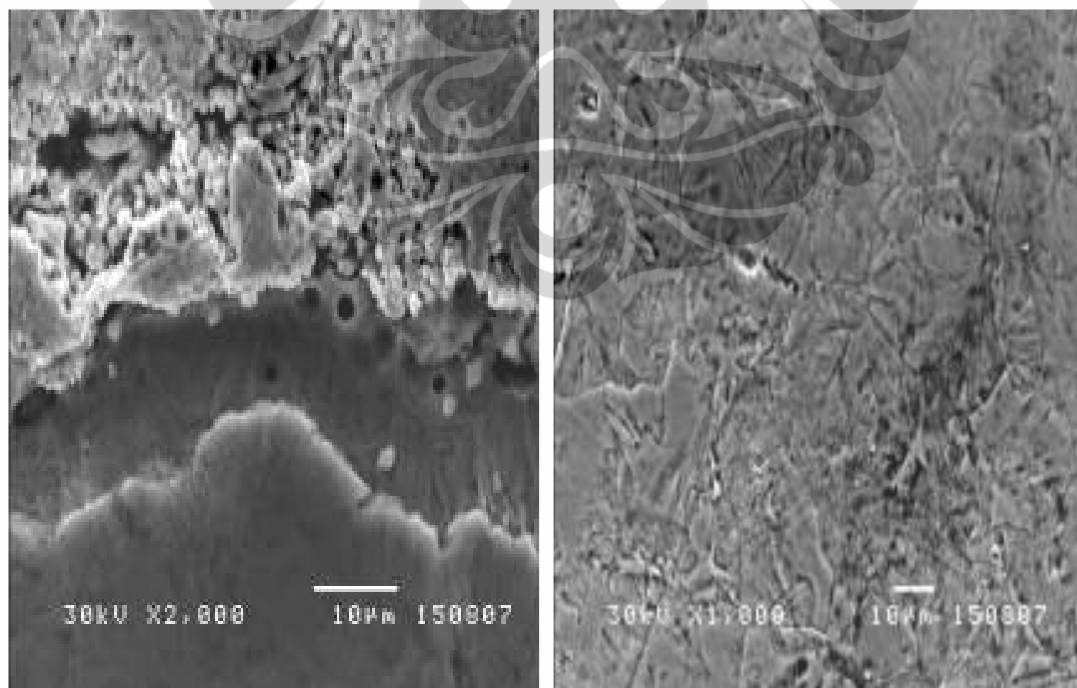
## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1100°C 20 JAM

*Interface**Coating**Base Metal*

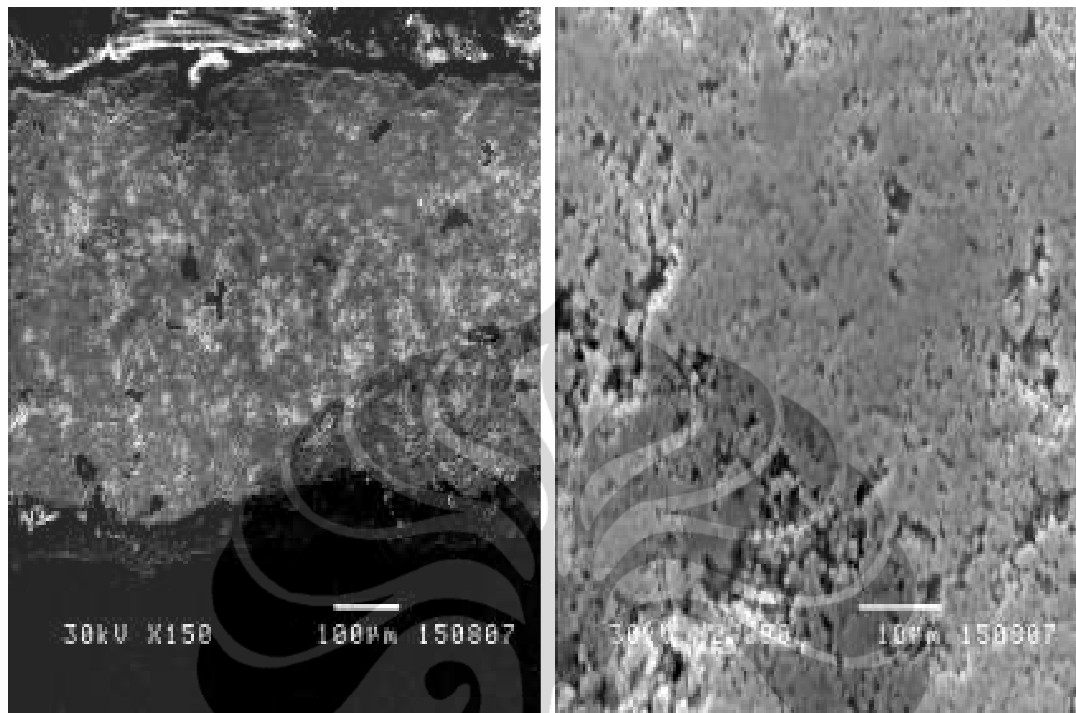
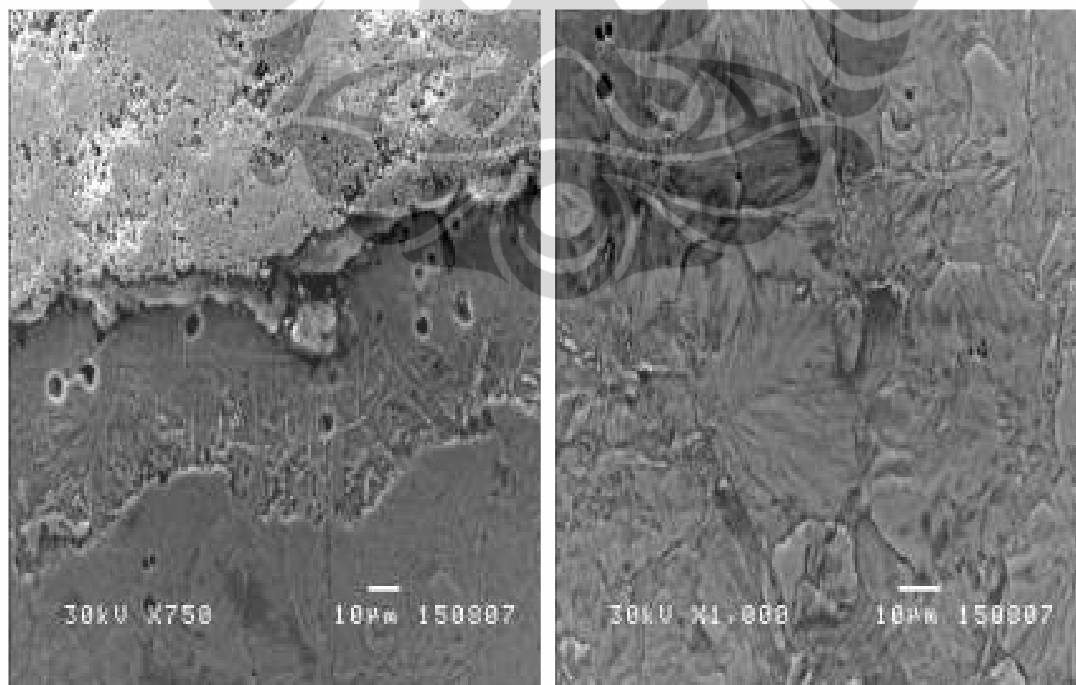
## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1100°C 24 JAM

*View**Coating**Interface**Base Metal*

## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1200°C 2 JAM

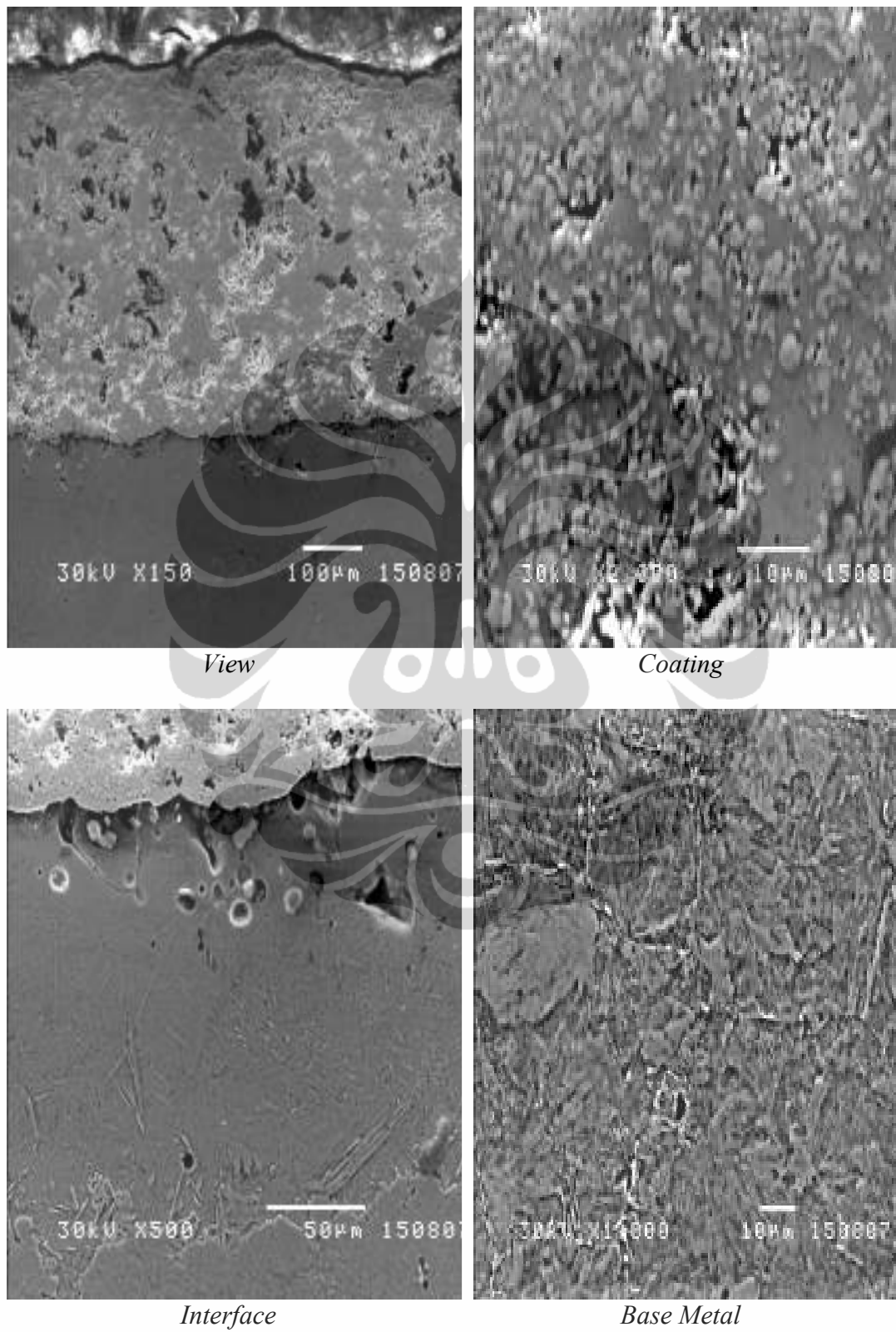
*View**Coating**Interface**Base Metal*

## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1200°C 12 JAM

*View**Coating**Interface**Base Metal*



## HASIL SEM SAMPEL SETELAH PEMANASAN 1200°C 24 JAM



### Hasil Pengujian Microhardness Vickers

Kode Sampel	Jarak (um)	I1(mm)	I2 (mm)	L (mm)	HV (kg/mm <sup>2</sup> )
as coated	100	35	30	32.5	878
	200	30	40	35	757
	300	50	50	50	371
	400	68	68	68	201
	500	68	70	69	195
	600	64	70	67	207
1000 20	100	40	48	44	479
	200	40	40	40	580
	300	40	40	40	580
	400	70	70	70	189
	500	68	70	69	195
	600	70	70	70	189
1000 24	100	48	48	48	402
	200	46	40	43	501
	300	40	44	42	526
	400	66	60	63	234
	500	64	64	64	226
	600	60	64	62	241
1000 26	100	48	48	48	402
	200	46	50	48	402
	300	42	40	41	552
	400	64	68	66	213
	500	70	70	70	189
	600	66	70	68	201
1100 12	100	40	40	40	580
	200	40	40	40	580
	300	42	44	43	501
	400	50	54	52	343
	500	60	60	60	258
	600	60	64	62	241
1100 20	100	44	44	44	479
	200	44	46	45	458
	300	40	41	40.5	565
	400	68	66	67	207
	500	70	68	69	195
	600	66	70	68	201
1100 24	100	44	46	45	458
	200	48	46	47	420
	300	40	40	40	580
	400	70	68	69	195
	500	70	68	69	195
	600	70	70	70	189

Kode Sampel	Jarak (um)	I1(mm)	I2 (mm)	L (mm)	HV (kg/mm <sup>2</sup> )
1200 2	100	40	40	40	580
	200	40	39	39.5	594
	300	39	38	38.5	626
	400	55	60	57.5	280
	500	50	55	52.5	336
	600	58	62	60	258
1200 12	100	40	44	42	526
	200	40	40	40	580
	300	38	38	38	642
	400	60	60	60	258
	500	70	70	70	189
	600	68	66	67	207
1200 24	100	48	46	47	420
	200	46	50	48	402
	300	36	36	36	715
	400	66	68	67	207
	500	68	66	67	207
	600	68	68	68	201

